

**Zur Gestaltung einer ETCS-Migration
eines Eisenbahnverkehrsunternehmens**

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Christoph Gralla
geboren am 12. Juli 1959 in Celle

Eingereicht am

02. Februar 2009

1. Referent:

Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer

2. Referent:

Prof. Dr.-Ing. Joern Pacht

Mündliche Prüfung am:

14. Mai 2009

2009

Vorwort

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit bei der DB Fernverkehr AG in Frankfurt.

Herrn Professor Dr.-Ing. Lemmer danke ich für die wissenschaftliche Betreuung und die Impulse, die den Grundstein zu dieser Arbeit legten. Seine Diskussionen und Anstöße sorgten für die Ausgestaltung und Fokussierung der Arbeitsschwerpunkte.

Herrn Professor Dr.-Ing. Pachl danke ich für die Übernahme des Koreferats und sein Interesse an dieser Arbeit.

Herrn Professor Dr.-Ing. Schnieder danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Meinen Kollegen bei der Deutschen Bahn insbesondere Herrn Dr. Fregien, Frau Dr. Hegels und Herrn Garre spreche ich meinen großen Dank für die vielfältigen Diskussionen und Anregungen aus, die für den realitätsnahen Pragmatismus der kreativen Ideen sorgten.

Insbesondere möchte ich mich für die Hilfe und das Verständnis für den Zeiteinsatz bei meiner Familie bedanken, die erst die Arbeit in diesem Umfeld ermöglichen. Meiner Mutter, meiner Schwester sowie meiner Kollegin Frau Dworschak gilt der Dank für das Korrekturlesen der Arbeit.

Mainz im September 2009

Christoph Gralla

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Ziel der Arbeit	1
1.2 Struktur der Arbeit.....	2
2 Grundlage des europäischen Zugbeeinflussungssystems	4
2.1 Einführung in das europäische Zugbeeinflussungssystem	4
2.2 Der Leitgedanke	5
2.2.1 Definition von ETCS	6
2.3 Gesetzeslage	7
2.4 Definition von ETCS und seiner Leistungsstufen.....	9
2.4.1 ETCS-Level 1	10
2.4.2 ETCS-Level 1 Limited Supervision.....	11
2.4.2.1 Legaler Zustand von ETCS-L1 Limited Supervision	12
2.4.2.2 Vorteile durch Einsatz von Limited Supervision	13
2.4.3 ETCS-Level 1 Radio Infill	14
2.4.4 ETCS-Level 2.....	15
2.4.5 ETCS-Level 3.....	17
2.4.6 ERTMS-Regional	19
2.5 Festlegung des ETCS-Level auf Infrastrukturseite	20
2.6 Die System Requirement Specification.....	21
2.6.1 Abstimmungsprozess für eine neue ETCS-Version	25
2.7 Kostentreiber Infrastruktur	26
2.7.1 Verzicht auf Signale	27
2.7.2 Kostenvergleich verschiedener ETCS-Level auf Infrastrukturseite	27
2.8 Kapazitätsaussagen zu den einzelnen ETCS-Stufen	30
2.8.1 Kapazitätsaussage für die Hochgeschwindigkeitsstrecke	32
2.8.2 Kapazitätsaussage für die konventionelle Strecke	33
2.8.3 Kapazitätsaussage für die Regionalstrecke	34
2.8.4 Betriebliche Vorteile der unterschiedlichen ETCS-Funktionsstufen aus Kapazitätssicht.....	34
2.8.4.1 Betrieblicher Vergleich von ETCS-Level 1 Limited Supervision und PZB	35
2.8.4.2 Betrieblicher Vergleich von ETCS-Level 1 und PZB.....	35
2.8.4.3 Betrieblicher Vergleich von ETCS-Level 1 und PZB.....	35
2.8.5 Kapazitätsbetrachtung anhand der Bremskurvencharakteristik	36
2.8.6 Kapazitätsbetrachtung anhand von GSM-R-Engpässen	36
2.8.7 Integrierter Interoperabilitätstest Strecke und Fahrzeug	38
2.8.7.1 Einzelkomponententest	40
2.8.7.2 Kombierter Test der Einzelkomponenten Fahrzeug-Strecke	43
2.8.7.3 Testnormal Strecke	44
2.8.7.4 Testnormal Fahrzeug	46
2.8.7.5 Testumgebung reale Strecke mit realem Fahrzeug.....	47
2.9 Rückfallebenenbetrachtung	47
2.9.1 Hauptelemente der Fahrzeugausrüstung	49
2.9.1.1 Randprämissen zur Untersuchung der Störungen am Fahrzeug.....	50
2.9.1.2 Fehlerbetrachtungen am Fahrzeug.....	50
2.9.2 Hauptelemente der Streckenausrüstung	51
2.9.2.1 Randparameter zur Betrachtung der Störungen auf der Infrastrukturseite...	51

2.9.2.2 Beschreibung der Störungen auf Infrastrukturseite.....	51
2.10 Betrieb unter ETCS.....	53
2.11 Zusammenfassung der Grundlagen	54
3 Migration	56
3.1 Ziele der Infrastrukturbetreiber	56
3.1.1 Sachstand des ETCS-Ausbaus.....	56
3.1.2 Auswertung der Ziele ausgewählter Mitgliedsstaaten	57
3.1.3 Migration des Zugbeeinflussungssystem der DB Netz AG.....	59
3.2 Ziele der Eisenbahnverkehrsunternehmen	61
3.2.1 Internationaler Verkehr der Deutschen Bahn	61
3.3 Ziele der Industrie.....	63
3.4 Ziele der Europäischen Union	63
3.4.1 Gründe einer beschleunigten Einführung von ETCS in der Europäischen Union.....	64
3.5 Der internationale Verkehr mit ETCS.....	68
3.5.1 Aspekte des Güterverkehrs.....	68
3.5.2 Aspekte des Personenverkehrs	70
3.6 Notwendige Transitionen für den Auslandsverkehr	72
3.7 Zusammenfassung der ETCS-Migrationsgrundlagen.....	73
4 Prozess zur Bestimmung einer optimalen ETCS-Migration.....	75
4.1 Prozess der Migration eines Eisenbahnverkehrsunternehmen.....	75
4.2 Hebel der Migrationsstrategie eines Eisenbahnverkehrsunternehmen.....	77
4.2.1 Wegfall von Verkehr	77
4.2.2 Fremde ETCS-Loks mieten.....	77
4.2.3 Verlegung der Streckenführung	78
4.2.4 Einflussnahme auf den ETCS-Ausrüstungszeitpunkt der Strecke	78
4.2.5 Einfluss auf die Migration der ETCS-Infrastruktur	79
4.2.6 Specific Transmission Module.....	80
4.2.7 Lok-Pool-Bildung einer internationalen Ausrüstungsreserve.....	80
4.2.8 Bildung von Teilflotten.....	80
4.2.9 Einfluss der SRS-Entwicklung.....	81
4.2.10 Einflussnahme auf die Infrastrukturrückfallmöglichkeiten.....	83
4.2.11 Einflussnahme auf den Rückbau der nationalen Zugbeeinflussungssysteme.....	83
4.2.12 ETCS-Ontop-Installation	84
4.2.13 Element Trassenpreis	84
4.2.14 Einflussnahme auf die GSM-R-Migration	85
4.2.15 Verzicht auf nationale Class B-Systemen bei neuen Zügen	85
4.2.16 Klassifizierung der Gestaltungselemente für Bestands- und Neufahrzeuge	86
4.2.17 Differenzierung der Hebel nach gestaltbaren und nicht gestaltbaren Elementen.....	92
4.3 Einflussmatrix und Wirkungsgefüge als Modellierungswerkzeug	96
4.3.1 Die Beschreibung der Einflussmatrix	97
4.3.2 Das Ausfüllen der Einflussmatrix.....	98
4.3.3 Wichtung der Beziehungen untereinander innerhalb der Einflussmatrix...99	
4.3.4 Bestimmung der Indizes aus der Einflussmatrix.....	101
4.3.5 Bereichseinordnung der Elemente	105
4.3.5.1 Bewertung der Bereichseinordnung der Elemente.....	106
4.4 Auswertung der realen Einflussmatrix der ETCS-Migration.....	106

4.4.1 Auswertung der Einflussmatrix und Bestimmung der entscheidenden Elemente.....	108
4.4.1.1 Aktive Elemente.....	108
4.4.1.2 Reaktive Elemente	108
4.4.1.3 Puffernde Elemente	108
4.4.1.4 Neutrale Elemente	109
4.4.1.5 Kritische Elemente	109
4.5 Mess- und Steuergrößen der ETCS-Migration eines EVU.....	109
4.6 Sensitivitätsanalyse mit Hilfe der Ceteris-Paribus-Methode	110
4.6.1 Simulationstool OMIWE zur Berechnung der Wirtschaftlichkeitszahl.....	110
4.6.1.1 Simulationstoolparameter und Rechenmethode	110
4.6.1.2 Prämissen zur Benutzung des Simulationstools	112
4.6.1.3 Prämissen des Basisszenarios	112
4.6.1.4 Einsatz des Tools	112
4.6.1.5 Ergebnisse des Simulationstool.....	113
4.6.2 Vergleichsbasis der alternativen Migrationswege	113
4.6.3 Sensitivitätsuntersuchungen	115
4.6.4 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse.....	115
4.6.4.1 Sensitivität der Umbauzeit bei gleichzeitiger Ausrüstung mehrerer Züge ...	116
4.6.4.2 Sensitivität der Umbauzeit bei Veränderung der Umbauzeit je Zug	117
4.6.4.3 Sensitivität der Verschiebung der Ausrüstnotwendigkeit.....	118
4.6.4.4 Einfluss der Finanzierung der Class B-Systeme bei Nachbarbahnen durch das EVU	119
4.6.4.5 Bewertung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse.....	120
4.7 Die Untersuchungskette zur Bestimmung des optimalen Migrationsweges...	120
4.7.1 Die Basis-Migrationsvariante	121
4.7.2 Definition des alternativen Migrationsweges	122
4.7.3 Definition der Untersuchungskette	122
4.7.4 Herleitung des optimalen Migrationsweges.....	126
4.7.4.1 Definition der Wirtschaftlichkeitszahl.....	126
4.7.4.2 Definitionen der Planvariante	127
4.7.4.3 Definition der Weiterführungsvariante.....	127
4.7.4.4 Definition des optimalen Migrationsweges	128
4.8 Bewertung der methodischen Entwicklung eines Migrationsweges.....	128
5 Beispielhafte Entwicklung einer ETCS-Migration für eine Fahrzeugflotte	130
5.1 Einzelne Länderbetrachtung.....	130
5.2 Ziel der Ausrüstung.....	131
5.3 Randbedingungen	131
5.4 Realisierungsstufen und optimaler Migrationsweg	134
5.5 Optimierung der Migration in einem weiteren Schritt.	136
6 Zusammenfassung und allgemeingültiger Transfer	137
Abbildungsverzeichnis	139
Tabellenverzeichnis	140
Formelverzeichnis	140
Verzeichnis der Hochgeschwindigkeitszüge	141
Literaturverzeichnis	142
Weiterführende Internetadressen.....	146

Abkürzungsverzeichnis

AEB	Allgemeines Eisenbahn Gesetz
AEIF	Association Européenne pour l' Interopérabilité Ferroviaire (Europäische Vereinigung für die Interoperabilität im Bereich der Bahn) BMVBS Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
ATP	Automatic Train Protection, automatisches Zugbeeinflussungssystem
BAU-STE	Verwaltungsvorschrift für die Bauaufsicht über Signal-, Telekommunikations- und Elektrotechnischenanlagen
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BTM	Balise Transmission Module
Class A	Führendes Zugbeeinflussungssystem nach TSI: ETCS
Class B	Das nationale Zugbeeinflussungssystem, das zum Einsatz kommt, wenn die Strecke oder das Fahrzeug nicht mit ETCS ausgerüstet ist.
C.A21	Article 21 Committee: Artikel-21-Komitee, hier Rat der Verkehrsminister der EU-Staaten
CCM	Change Control Management (Steuerung der Spezifikationsänderungen)
CCS	Control Command and Signalling (Zugsteuerung, Zugbeeinflussung und Signalgebung)
CEN	European Committee for Standardization
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique: Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung
CER	Community of European Railway and Infrastructure Companies (Gemeinschaft der europäischen Eisenbahnverkehrs- und Infrastrukturunternehmen)
CNTD	Continuous Numeric Track Definition
CR	Change Request (Änderungsantrag zur ETCS-Spezifikation)
DB AG	Deutsche Bahn AG
DLR	Deutsches Luft- und Raumfahrtinstitut
DMI	Digital Maschine Interface: Triebfahrzeugführer-Bildschirmeinheit
DTS	Dynamic Track Stabilisers
EBA	Eisenbahnbundesamt
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EC	European Commission (Europäische Kommission)

ECSAG	European Core SRS Assessment Group, internationale Abstimmungsgruppe über die Inhalte der SRS
EEIG	European Economic Interest Group; manchmal auch ERTMS Users Group (ERTMS-Anwender-Bahnen)
EG	Europäische Gemeinschaft
EIBV	Eisenbahninfrastruktur-Benutzungsverordnung - Verordnung über den diskriminierungsfreien Zugang zur Eisenbahninfrastruktur und über die Grundsätze zur Erhebung von Entgelt für die Benutzung der Eisenbahninfrastruktur – EIBV
EICIS	European Infrastructure Charging Information System
EIM	European Rail Infrastructure Manager, Gruppe der europäischen Eisenbahninfrastruktur-Manager)
EIRENE	European Integrated Radio Enhanced Network
EIV	Eisenbahn-Interoperabilitäts-Verordnung
EMSET	EMSET is an acronym for a project launched by EC as a validation step for ETCS-level 1 and 2. Tests to be performed in the laboratory and on the Madrid-Seville line.
EOR	ERTMS Operational Rules
EPR	European Performance Regime
ERA	European Rail Agency; Europäisches Eisenbahnbundesamt
ERIM	European Rail Infrastructure Masterplan
ERIG	European Radio Implementation Group (Gruppe der GSM-R-Anwenderbahnen)
ERNST	European Railways Numbering Scheme for Telecommunications
ERRI	European Railways Research Institute in den Niederlanden
ERTMS	European Rail Traffic Management System (europäisches Eisenbahnverkehrsleitsystem)
ETCS	European Train Control System (europäisches Zugbeeinflussungssystem)
ETCS	auch: -European Tissue Culture Society- ist hier aber nicht zu verwenden
ETCs	auch: -Exchange Traded Commodities- (ETCs) ist hier aber nicht zu verwenden
ETM	ETCS-Transmission Module
ETRS89	European Terrestrial Reference System
EU	Europäische Union
EUROSIG	European Special Interest Group
EUROSTAR	Britisches Eisenbahnunternehmen für den Verkehr London- Paris
EVC	European Vital Computer: ETCS-Onboard-System-Computer

EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
FFFIS	Form Fit Functional Interface Specification, Spezifikation der Schnittstelle inkl. Hardware-Beschreibung
FIS	Functional Interface Specification, Funktionale Beschreibung der Schnittstelle
FRS	Functional Requirement Specification
FS	Ferrovie Dello Stato - Italian State Railways
Fz	Fahrzeug
FZG	Fahrzeug
GA	General Assembly
GE _i	Gestaltungselement der Migrationsstrategie
GIS	Geographic Information System
GNT	Geschwindigkeitsüberwachung Neigetechnik
GSM-R	Global System for Mobile Communications - Rail
HAROP	Harmonised Radio Operations Procedures for GSM-R
HGV	Hochgeschwindigkeitsverkehr
HS	High Speed (Hochgeschwindigkeits-Eisenbahn)
HW	Hardware
IBN	Inbetriebnahme
i	Laufindex im Untersuchungskette
i _{max}	Maximale Anzahl von verschiedenen Migrationswegen
IC	Interoperability Component
IC	Intercity: internationale Zuggattung
ICE	Intercity-Express – ist die schnellste und komfortabelste Zugkategorie der Deutschen Bahn AG.
IF	Infrastructure Forum
IFSC	Infrastructure Forum Steering Committee
IL	Interlocking: infrastrukturseitige Leit- und Sicherungstechnik
IM	Infrastructure Manager
INESS	Integrated European Signalling System
IRSE	Institution of Railway Signal Engineers
IRTN	International Railway Telecom Network
IT	Information Technology
JRU	Juridical Recorder Unit, Aufzeichnungsgerät der Zugbeeinflussungs- und Fahrzeugdaten im Blackbox Verfahren
LEU	„Lineside Electronic Unit“: Signal-Anschaltbox für schaltbare Ba-lisen

LH	Lastenheft
LTM	Loop Transmission Module, Lesegerät für Euroloop auf dem Fahrzeug
LZB	Linienförmige Zugbeeinflussung, deutsches Zugbeeinflussungssystem für Geschwindigkeiten über 160 km/h
L1FS	ETCS-Level 1 Full Supervision oder kurz ETCS-Level 1
L1LS	ETCS-Level 1 Limited Supervision
LICB	Lasting Infrastructure Cost Benchmarking
MA	„Movement Authority“ (ETCS-Fahrterlaubnis)
MIP	Mehrjähriges indikatives Programm, Förderprogramm der Europäischen Union.
MMI	Man Maschine Interface, Mensch-Maschine Schnittstelle
Morane	Mobile Radio for Railway Networks in Europe
MOU	Memorandum of Understanding, Absichtserklärung
MRO	Maintenance Renewal Optimization
MVB	Der Multifunction Vehicle Bus (MVB), ist ein Feldbus, der meistens zur Übertragen von Befehlen innerhalb eines Eisenbahnfahrzeuges verwendet wird
NIM	Nürnberg-Ingolstadt-München
NPM	National Project Manager, Koordinator und Ansprechpartner aller nationalen Projekte auf internationalen Ebene für ETCS-Fragen
NS	Nederlandse Spoorwegen, niederländische Eisenbahngesellschaft
ÖBB	Österreichische Bundesbahn
OBU	Onboard Unit: ETCS-Fahrzeuggerät
ORG	Operational Rules Group
OPE	Operational Rules, in Zusammenhang mit der TSI
OPR	Operational Rules, Betriebsregeln
OSS	One Stop Shop
PETER	Panel European Telecommunication Experts for Railways
POS	Paris-Ostfrankreich-Süddeutschland
PoSE	Panel of Structural Experts
PRG	Progress Review Group
Profibus	PROFIBUS (Process Field Bus) ist ein Standard für die Feldbus-Kommunikation in der Automatisierungstechnik und wurde anfangs (1989) vom BMBF gefördert. Der Profibus wird vermehrt als Systembus in den neuen Lokomotiven für die Leittechnik eingesetzt.

PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung; deutsches Zugbeeinflussungssystem für Geschwindigkeiten unter 160 km/h
RBC	Radio Block Center: GSM-basierende ETCS-Verbindungsstelle zwischen ETCS-Level 2 Fahrzeugen und infrastrukturseitiger Leit- und Sicherungstechnik
RFI	RETE Ferroviaria Italiana, italienische Eisenbahngesellschaft
RNE	Rail Net Europe
RTM	Radio Transmission Module
RU	Railway Undertakings
SBB	Schweizer Bundesbahn
SCMT	Sistema di Controllo della Marcia del Treno: Italienisches neues Class B-System
SDB	Safety Database
SE	STM European, europäisch genormtes Specific Transition Module
SEDP	Strategic European Deployment Plan
SNCB	Société Nationale des Chemins de fer Belges, belgische Eisenbahngesellschaft
SNCF	Société Nationale des Chemins de fer Français, französische Eisenbahngesellschaft
SPMU	Speed Monitoring Unit
SRS	System Requirement Specification
STM	Specific Transmission Module (Adaption des nationalen Zugbeeinflussungssystems an ETCS)
SW	Software
TAF TSI	Telematics Application for Freight for the Technical Standard for Interoperability
TAP TSI	Telematics Application for Passenger for the Technical Standard for Interoperability
TEG	Track Experts Group
TEIV	Transeuropäische Eisenbahn-Interoperabilitäts Verordnung
TEN	Trans European Network; Transeuropäisches Netzwerk
TEN-V	Transeuropäisches Verkehrsnetz
TF	Triebfahrzeugführer
TIU	Train Interface Unit: Fahrzeugschnittstelle zum ETCS-Onboard Computer
TSI	Technical Specification of Interoperability (Technische Spezifikation der Interoperabilität)
TSI CCS	TSI Control Command System

TSI OPE	TSI Operational Rules
UIC	Union Internationale des Chemins de fer, internationale Eisenbahn Vereinigung
UNIFE	Union of the European Railway Industries (Verband der europäischen Eisenbahnindustrie)
UNISIG	Union Industry of Signaling, Vereinigung der Signalbauindustrie
VDB	Verband Deutscher Bahnindustrie
VDEI	Verband Deutscher Eisenbahningenieure
WEG _i	Migrationsweg aufgrund eines bestimmten Gestaltungselementes
WEG _{i optimal}	optimaler Migrationsweg
WR _i	Wirtschaftlichkeitszahl als Ergebnis einer Wirtschaftlichkeitsrechnung
WR _{i optimal}	optimale/größte Migrationszahl
WR ₀	Migrationszahl für das Basisszenario per Definition = 0

1 Einleitung

Die europäische Gemeinschaft wächst unaufhaltsam. Das Bestreben der europäischen Gemeinschaft nach Harmonisierung, Standardisierung und Öffnung der Grenzen führt zu vielen neuen Gesetzen, Regeln und Techniken. Eine dieser technischen Spezifikationen für den grenzüberschreitenden Verkehr ist die Gruppe der sogenannten TSI, Technische Spezifikation der Interoperabilität oder englisch: technical specification of interoperability. In dieser Spezifikation ist das Kapitel über die Leit- und Sicherungstechnik, CCS, aufgrund des dort beschriebenen europäischen Zugbeeinflussungssystems besonders wichtig.

Auf dem Weg zu der europaweiten Umsetzung ist die Beschreibung einer technischen Lösung nur ein Schritt von vielen. Bis heute existieren viele Arbeiten und Beschreibungen der eigentlichen europäischen Zugbeeinflussungstechnik, deren Lösungen, technischen Realisierungen und dem Umgang mit noch fehlenden Funktionalitäten. Das Ansinnen der Europäischen Kommission, ein erstes internationales Eisenbahnnetzwerk mit dem europäischen Zugbeeinflussungssystem auszustatten, ist in vollem Gange und der laufende Abstimmungs- und Koordinierungsbedarf ist immens. Parallel laufende Aktivitäten zur internationalen Abstimmung von betrieblichen Regeln zum Fahren unter einem europäischen Zugbeeinflussungssystem sind gerade in der Startphase.

Alle diese Aktivitäten, Dokumente und Bestimmungen haben eines gemeinsam: Die Migration der Ausrüstung der Fahrzeuge mit dem europäischen Zugsicherungssystem wurde bisher nicht oder nicht hinreichend betrachtet.

1.1 Ziel der Arbeit

Diese Arbeit zeigt einen Weg auf, wie Eisenbahnverkehrsunternehmen einen wirtschaftlichen Migrationsweg für ihre ETCS-Flotte gestalten können. Die dabei möglichen Gestaltungsmöglichkeiten der Fahrzeugbetreiber für den Verkehr in einer migrierenden Infrastrukturwelt werden bis zu dem Zeitpunkt einer kompletten Ausrüstung auf Fahrzeug- und Infrastrukturseite mit dem neuen Zugbeeinflussungssystem diskutiert. Ausgehend von verschiedenen Infrastrukturausbauständen werden Möglichkeiten aufgezeigt, unter welchen Randbedingungen Verkehr durchgeführt werden kann. Diese Arbeit schließt erstmals die Diskussion der Rückfallebenen für die Übergangszeit der Migrationsphasen mit ein.

Basierend auf einer fundierten Darstellung der Grundlagen des europäischen Zugbeeinflussungssystems sowie der Beweggründe von Infrastrukturbetreibern, dieses zu implementieren, wird in dieser Arbeit ein mehrstufiger Prozess entwickelt, wie eine wirtschaftlich optimale Migration erreicht werden kann.

Bezug nehmend auf die unterschiedlichen Ziele und die nach Neu- und Bestandsfahrzeugen klassifizierten Möglichkeiten werden die verschiedenen Ges-

taltungselemente vorgestellt und die daraus resultierenden Einflüsse auf den Migrationspfad diskutiert.

Die Unterscheidung der direkt durch das Eisenbahnverkehrsunternehmen gestaltbaren Elemente und der nur indirekt zu beeinflussenden Faktoren wird erörtert. Die Arbeit zeigt einen Weg auf, wie ein Eisenbahnverkehrsunternehmen aus der Vielzahl der Gestaltungselemente mithilfe einer mit allen Beteiligten abgestimmten Einflussmatrix die wichtigsten Mess- und Steuergrößen für die Migration herausarbeiten kann. Eine mit Hilfe eines Simulationstools durchgeführte Parametersensitivitätsanalyse der entscheidenden Steuergrößen verdeutlicht deren möglichen Einflüsse auf die Migration.

Die in dieser Arbeit entwickelte abschließende Untersuchungskette soll für ein Eisenbahnverkehrsunternehmen als ein objektives Hilfsmittel zu einem optimalen Migrationsweg führen. Anhand einer internationalen Flotte des DB Fernverkehr wird mit Hilfe dieses Prozesses der optimale Migrationsweg beispielhaft hergeleitet und der Prozess verifiziert. Die Übertragbarkeit des Prozesses auf verschiedene Situationen und Eisenbahnverkehrsunternehmen schließt diese Arbeit ab.

1.2 Struktur der Arbeit

Nach der Einleitung werden im Kapitel 2 die Grundlagen des europäischen Zugbeeinflussungssystems ETCS diskutiert. Über die Motivation, warum ETCS in Europa eingeführt wird, werden die einzelnen ETCS-Level und deren Varianten vorgestellt. Die Entscheidungen in Bezug auf die Levelwahl auf Infrastrukturseite in Hinblick auf Kosten der Signale und der Streckenkapazität werden erörtert. Das durch den Systemgedanken des europäischen Zugbeeinflussungssystems neu hinzugekommene Thema des gemeinsamen Integrationstestes von Fahrzeug und Infrastruktur wird erstmals in der idealen, bisher noch nicht angewendeten, vierstufigen Lösung vorgestellt. Die Betrachtung der Rückfallebenen, differenziert nach dem Ausfall der einzelnen Elemente der Infrastruktur und der Fahrzeuge, legt die Grundlagen für die weiteren Gestaltungselemente der Migration auf Fahrzeugseite. Eine klare Unterteilung von betrieblichen und technischen Lösungen für das Fahren mit ETCS schließt das Grundlagenkapitel ab.

Das Kapitel 3 stellt die Ziele der ETCS-Einführung der Infrastrukturbetreiber, der Eisenbahnverkehrsunternehmen, der Industrie und der Europäischen Union gegenüber. Das Kapitel startet mit der Auswertung der Gründe für den Infrastrukturausbau mit ETCS. Dafür wurden die Ausbaustrategiegründe von 14 europäischen Infrastrukturbetreibern anhand der in Brüssel eingereichten nationalen Migrationspläne untersucht und kategorisiert. Detailliert eingegangen wird auf die Migrationsstrategie der DB Netz AG als Infrastrukturbetreiber. Die

Darstellung der Ziele von Eisenbahnverkehrsunternehmen wird beispielhaft ergänzt durch die des internationalen Linien- oder Metropolenverkehrs der Deutschen Bahn. Neben den Zielen der Industrie wird intensiv auf die Migrationsziele der Europäischen Union sowie deren Überlegungen zur Beschleunigung der ETCS-Einführung auf Infrastrukturseite eingegangen. Die Migration zu einheitlich ausgerüsteten Fahrzeugen im internationalen Verkehr, der ursächliche Grund für eine europäische Harmonisierung der Zugbeeinflussungssysteme, wird anhand der Aspekte im Güter- und Fernverkehr sowie die für den grenzüberschreitenden Verkehr notwendigen Transitionen erörtert.

Der Prozess einer optimalen Migrationsstrategie für Eisenbahnverkehrsunternehmen wird in dem Kapitel 4 hergeleitet. Die einzelnen Prozessschritte werden detailliert erläutert. Dazu gehören neben der Erörterung und der Klassifizierung der Gestaltungselemente, das Aufstellen einer Einflussmatrix und das Separieren der wichtigsten sieben Mess- und Steuergrößen. Die Parametersensitivitätsanalyse der wichtigsten Mess- und Steuergrößen, die Definition einer Basis- oder Vergleichsmigrationsvariante und als letzter Prozessschritt die Untersuchungskette beschreiben die Prozesselemente zur Erlangung eines optimalen Migrationsweges. Aufbauend auf den Grundlagen, den Betriebskonzepten und den Rückfallebenen werden alle Gestaltungselemente für die Migration von Fahrzeugflotten bis hin zu Verkehr auf mit ETCS ausgerüsteten Strecken diskutiert und bewertet. Basierend auf den Möglichkeiten der einzelnen Eisenbahnverkehrsunternehmen wird in dieser Arbeit eine Einflussmatrix aufgestellt, die die einzelnen Elemente in aktive, reaktive, kritische, neutrale und puffernde Elemente unterteilt. Die dabei angewandte Vester®-Methode zur Komplexitätsreduktion führt dabei zu den 7 entscheidenden Mess- und Steuergrößen der Migration. Die entscheidenden Steuergrößen werden mit Hilfe der Ceteris-Paribus-Methode einer Parametersensitivitätsanalyse unterzogen. Im Rahmen der Parametersensitivitätsanalyse wird das neu entwickelte Simulationstool OMIWE (**O**ptimaler **M**igrations**w**eg) für die Simulation und Darstellung der zeitlichen Verläufe von Kosten und Kapitalwerten anhand verschiedener Migrationswege erläutert. Die für den letzten Prozessschritt entwickelte Untersuchungskette liefert nach der in diesem Kapitel in den Grundzügen beschriebenen Kapitalwertmethode objektiv den wirtschaftlich optimalen Migrationsweg.

Im Kapitel 5 wird dieser Prozess beispielhaft an einer Flottenausrüstung des DB Fernverkehr angewendet.

Die Arbeit schließt mit der Zusammenfassung und der Eingruppierung der Verwendbarkeit dieses Prozesses in Kapitel 6.

2 Grundlage des europäischen Zugbeeinflussungssystems

2.1 Einführung in das europäische Zugbeeinflussungssystem

Im Zeitalter der Globalisierung, rasant wachsender Warenumläufe und dem Wunsch, jederzeit an jedem Ort fast jedes Produkt verfügbar zu haben, kommt dem grenzüberschreitenden Güterverkehr immer mehr Bedeutung zu. Die Zukunftsprognosen zeigen eindeutig eine klare Richtung: nach oben. Das gilt zwar grundsätzlich für alle Verkehrsträger, nur dass der europäische Schienenverkehr durch technische Hürden gegenüber den anderen Verkehrsträgern, speziell im grenzüberschreitenden Verkehr, deutliche Wettbewerbsnachteile hinnehmen muss. ETCS (European Train Control System), ein einheitliches europäisches Leit- und Sicherungssystem, soll dabei diesen Wettbewerbsnachteil gerade für den Güterverkehr deutlich verringern. Anders als im grenzüberschreitenden Straßengüterverkehr, der relativ reibungslos funktioniert, gibt es im schienengebundenen Verkehr noch eine Reihe erheblicher Behinderungen.

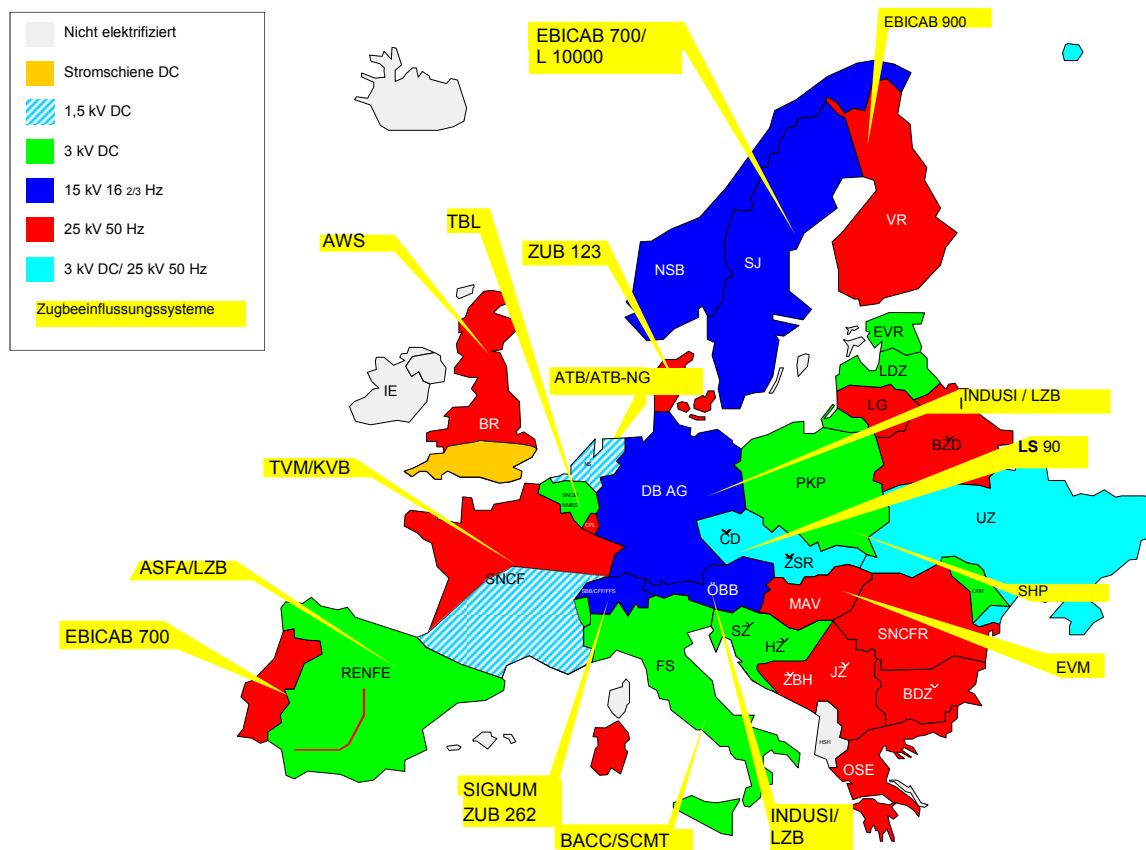


Abbildung 1 Strom- und Zugsicherungssysteme in Europa

Denn gerade bei der „Grenzüberschreitung“, die im Rahmen der Globalisierung mehr und mehr an Bedeutung gewinnt, offenbart sich eine ganze Palette an

Hindernissen, die es zu überwinden gilt. Begonnen bei der Sprache, technischen Hürden wie Zugbeeinflussungssystemen, Stromsystemen und Spurbreiten bis hin zu den betrieblichen Rahmenbedingungen der einzelnen Bahnen. Das heißt, grenzüberschreitender Verkehr ist nur unter technisch und betrieblich erschwerten Bedingungen wie Triebfahrzeugführerwechsel, Implementierung mehrerer Zugbeeinflussungssysteme auf den Triebfahrzeugen, technischem Ausschluss zum Befahren einzelner Strecken möglich. Der Vorteil der anderen Verkehrsträger ist unschwer erkennbar.

Bedingt sind diese technischen und betrieblichen Hürden durch den zwar parallelen aber autarken Beginn des Eisenbahnzeitalters in vielen Ländern des damals noch stark zergliederten Europas. Unter diesen Randbedingungen hat sich eine europäische Eisenbahninfrastruktur entwickelt, die eben durch diese historisch gewachsenen technischen und betrieblichen Barrieren geprägt wird (Spurweiten, Stromsysteme, Signal- und Zugbeeinflussungssysteme, Stellwerke und betriebliche Verfahren/Regeln). ETCS bietet jetzt erstmals die große Chance, auf dem Gebiet der Zugbeeinflussungssysteme eine technische Harmonisierung zu erreichen.

2.2 Der Leitgedanke

Zugbeeinflussungssysteme funktionieren immer nur im Zusammenspiel zwischen Strecke und Fahrzeug. Die Strecke gibt die Parameter wie Fahrtrichtung, Fahrstraßen, zulässige Geschwindigkeit, Länge des freigegebenen Fahrweges und weitere Parameter vor. Der Triebfahrzeugführer (TF) und die Fahrzeugeinrichtungen nehmen die Informationen auf, verarbeiten sie und reagieren bzw. überwachen diese Vorgaben. Handelt der TF entgegen den Vorgaben (zu hohe Geschwindigkeit, Überfahren eines Halt zeigenden Signals), greift die „Technik“ ein, warnt den TF vor einer Gefahr oder löst eine Sicherheitsreaktion aus. Fast jede Bahn hat ihre eigenen „technischen Hilfsmittel“ in Form von Zugbeeinflussungssystemen aufgrund ihrer jeweiligen Sicherheitsphilosophie und den im Laufe der Zeit gemachten Erfahrungen entwickelt und zum Einsatz gebracht. ETCS als interoperable Lösung soll diese Vielfalt harmonisieren [GRP07].

Zunächst ist ETCS ein in „europäischer Gemeinschaftsarbeit“ mit dem Gremium weltweit agierender Signalbaufirmen, den UNISIG- Firmen, generiertes neues Zugbeeinflussungssystem. Es wurde als interoperables, führerraumsignalisiertes System konzipiert und soll die unendliche Systemvielfalt der heute in Europa im Einsatz befindlichen Zugbeeinflussungssysteme ablösen. Bei einer konsequenten Umsetzung der Spezifikation soll dieses System es ermöglichen, Lokomotiven und Züge mit einem ETCS-Einheits-Fahrzeuggerät und entsprechender Streckenausrüstung grenzüberschreitend quer durch Europa zu führen.

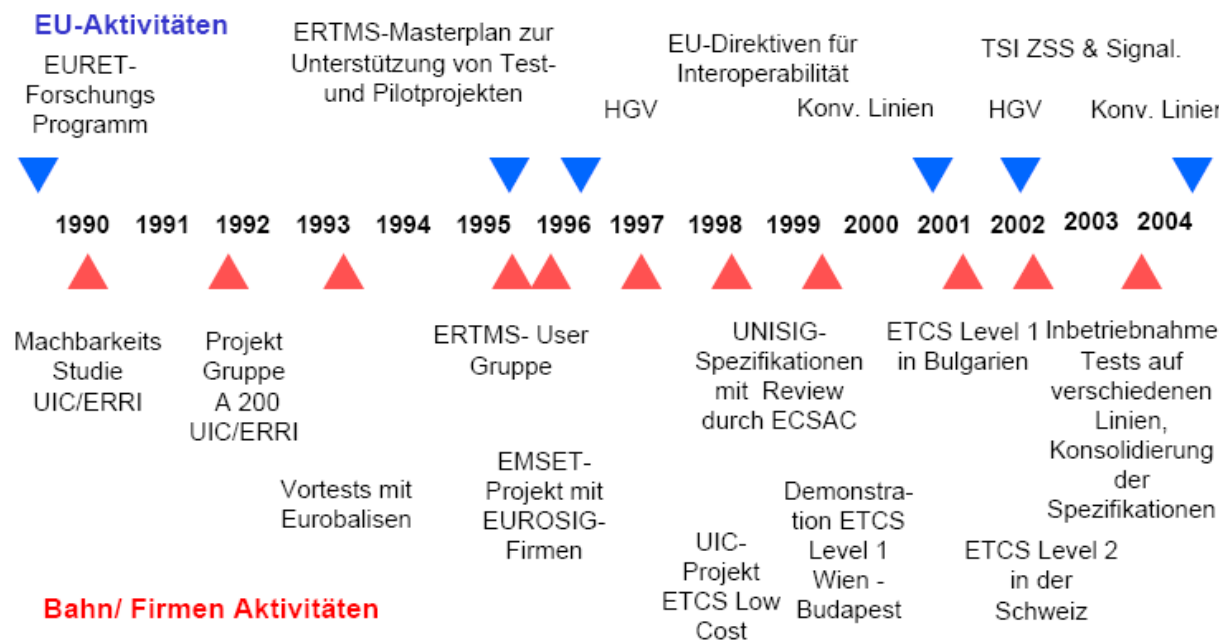


Abbildung 2 Zeitliche Historie von ERTMS/ETCS [WIN05]

Durch die Offenlegung der Systemspezifikation und die europaweite Ausrichtung soll neben der Beseitigung der Systemvielfalt und einer möglichen Erhöhung der Leistungsfähigkeit vor allem der Wettbewerb gestärkt werden. An dieser Stelle werden aufgrund des Wettbewerbs und der Einsparmöglichkeiten bei Gleisfreimeldeanlagen und Signalen auch Kostensenkungen erwartet. Diese Arbeiten begannen schon vor 1990 wie auch der Zeitbalken in Abbildung 2 eindrucksvoll belegt.

2.2.1 Definition von ETCS

ETCS steht für European Train Control System. Es handelt sich hierbei um ein Zugbeeinflussungssystem, welches auf Betreiben der Europäischen Kommission sukzessive die bislang in den europäischen Ländern eingesetzten Zugbeeinflussungssystemen in Europa, wie in Abbildung 1 gezeigt, ablösen soll. Dies wurde in der Entscheidung der Europäischen Kommission 2007/153/EG vom 6.3.2007, Amtsblatt L76/13 vom 07.3.2007 festgelegt.

Allerdings sind wegen der unterschiedlichen Betriebsverfahren bei den Bahnen Europas die Anforderungen an ETCS zurzeit recht unterschiedlich.

ETCS fällt nach dieser Entscheidung unter die sicherheitsrelevanten Steuerungs- und Sicherungssysteme im Sinne der §§ 4 Abs. 3 AEG 3 Abs. 1 S. 2 Anlage 1 Nr. 1c EIBV, welche Funktionen und ihre Umsetzung umfassen, die einen sicheren und vorher zu bestimmenden Betrieb der Züge ermöglichen, um die gewünschten Betriebsabläufe zu gewährleisten. (Siehe auch [HES06] § 4 Rn. 145.)

2.3 Gesetzeslage

Die EU-Rechtsvorschriften auf dem Gebiet der Eisenbahninteroperabilität sehen die Vereinheitlichung technischer Standards vor um zu gewährleisten, dass Züge nationale Grenzen innerhalb der EU überqueren können, ohne für jedes Land mit spezifischen Systemen ausgerüstet zu sein.

Aus den Plänen zur ETCS-Einführung (ETCS: European Train Control System) soll hervorgehen, welche Phasen zu durchlaufen sind, damit ein schrittweiser Übergang vom gegenwärtigen Stand zu einer Situation, in der das ETCS auf dem gesamten transeuropäischen Bahnnetz eingesetzt wird, erfolgen kann. Artikel 155 des EG-Vertrags sieht vor, dass die Gemeinschaft...

„... jede Aktion durchführt, die sich gegebenenfalls als notwendig erweist, um die Interoperabilität der Netze zu gewährleisten insbesondere im Bereich der Harmonisierung der technischen Normen“.

Das Informationsblatt der DG Tren [DGT07] in Bezug auf ETCS gibt hierfür die gesetzliche Grundlagen wieder.

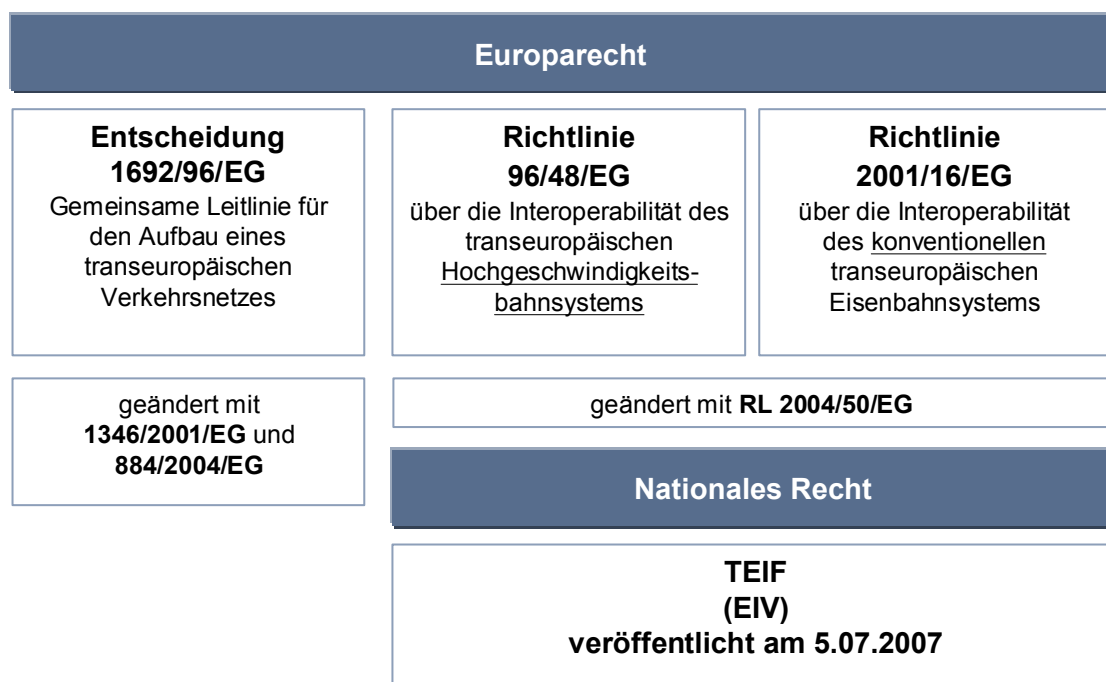


Abbildung 3 Gesetzesgrundlage für die Implementierung von ETCS

Die durch die EU festgelegten Richtlinien bilden die Grundlage für die europäisch abgestimmten technischen Spezifikationen der Interoperabilität, der TSI. Erst daraus entstehen die europäischen Normen wie in dem Schaubild der gesetzlichen Situation in Abbildung 3 dargestellt wird. Selbst europäische Normen

sind per se nicht bindend. Erst durch die Überführung der europäischen Normen in das nationale Recht, in Deutschland über die Veröffentlichung sogenannter Amtsblätter, wird die Anwendung verpflichtend. So trägt jeder europäische Staat selbst die Verantwortung zur Einhaltung der europäischen Gesetze. Am Beispiel von Eisenbahninfrastrukturprojekten in Deutschland wird die Notwendigkeit des gesamtheitlichen Ansatzes von Gesetzen und Verordnungen zwischen Europäischer Union und nationalen Bestimmungen sichtbar. Allein die Gesetzeslage jedes einzelnen europäischen Landes und Europas für sich unterscheiden sich in ihrer Ausprägung erheblich.

Das Bestreben, ETCS auf Infrastruktur und Fahrzeugseite europäisch einzusetzen, ist für sich nicht losgelöst innerhalb der europäischen Gemeinschaft zu betrachten. Strukturell eingebettet und gekoppelt ist das gesamte Vorhaben in dem sogenannten Transeuropean Network, dem TEN. Im TEN werden alle Verkehrsträger berücksichtigt und demzufolge auch unterschiedlich nach Netzen und Linien der

- Wasserstraßen
- Motorstraßen
- Eisenbahnverkehr
- Luftstraßen

behandelt.

Alle europäischen Reglementarien, Förderungen, Gesetze und Richtlinien werden auf dieses Netzwerk angewendet in das alle EU-Mitglieder in der Gestaltung der einzelnen Themen einbezogen werden.

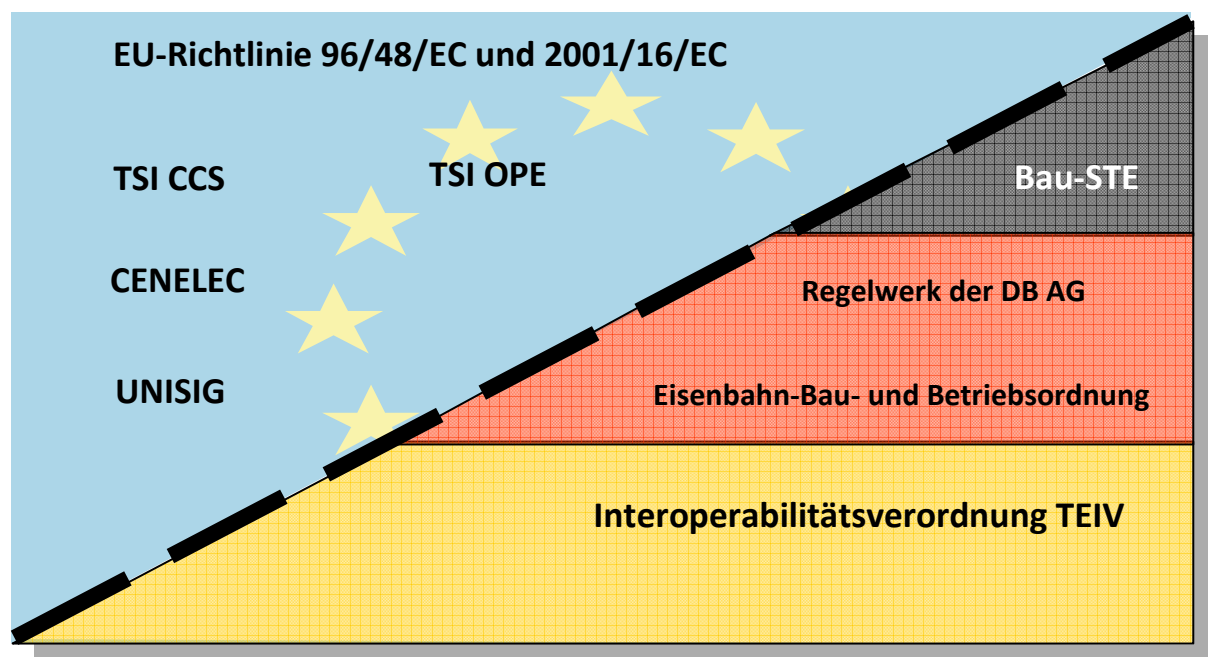


Abbildung 4 Gegenüberstellung der Gesetze die für Infrastrukturprojekte in Deutschland gelten [KAM07]

Eine Gesamtübersicht aller TEN erhält man auf der Internetseite der Europäischen Kommission [www.europa.eu.int/com/ten/transport].

2.4 Definition von ETCS und seiner Leistungsstufen

Herausgeschält aus dem TEN in Abbildung 5 wird schnell klar, dass, anders als im Automobilverkehr, ein grenzüberschreitender Verkehr bei der Eisenbahn unabhängig von Zoll, Einreisebestimmung oder Sprachbarrieren auf besondere Hürden stößt. Eine dieser Hürden ist hierbei die Differenzierung der verschiedenen Zugbeeinflussungssysteme.

Der europäische Gedanke der Harmonisierung dieser Zugbeeinflussungssysteme zu einem einzigen System, dem European Train Control System, kurz ETCS, durchlief bis heute über 10 Jahre der Abstimmung. Heute hat sich ETCS auf 3 wesentliche Leistungsstufen stabilisiert.



Abbildung 5 TEN Übersicht [www.europa.eu.int/com/ten/transport]

Die verschiedenen Level des ETCS erlauben es entsprechend der technologischen Strategie und den Leistungsanforderungen der Bahnen bei der Ausrüstung einer Strecke mit ETCS eine jeweils optimale Variante zu wählen.

In allen Level überwacht die ETCS-Fahrzeugeinrichtung kontinuierlich die Geschwindigkeit und die erlaubte Entfernung, die der Zug zurücklegen darf. Zur Bestimmung der Bremskurven werden unter Anderem neben den geschwindig-

keitsabhängigen Bremseigenschaften des Zuges z.B. die Neigung und die Bremseigenschaften der Strecke berücksichtigt. Bei Unterschreiten des zulässigen Weges bis zum Gefahrenpunkt oder im Überschreiten der zulässigen Geschwindigkeit wird, um Gefährdungen zu verhindern, vom Fahrzeuggerät eine Reaktion ausgelöst.

2.4.1 ETCS-Level 1

Der ETCS-Level 1 ist geeignet für Strecken, die mit herkömmlichen Signalen ausgestattet sind. Das Betriebsverfahren basiert auf der Beachtung der Signale durch den Triebfahrzeugführer nach den nationalen Regeln eines jeden Landes.

ETCS-Level 1

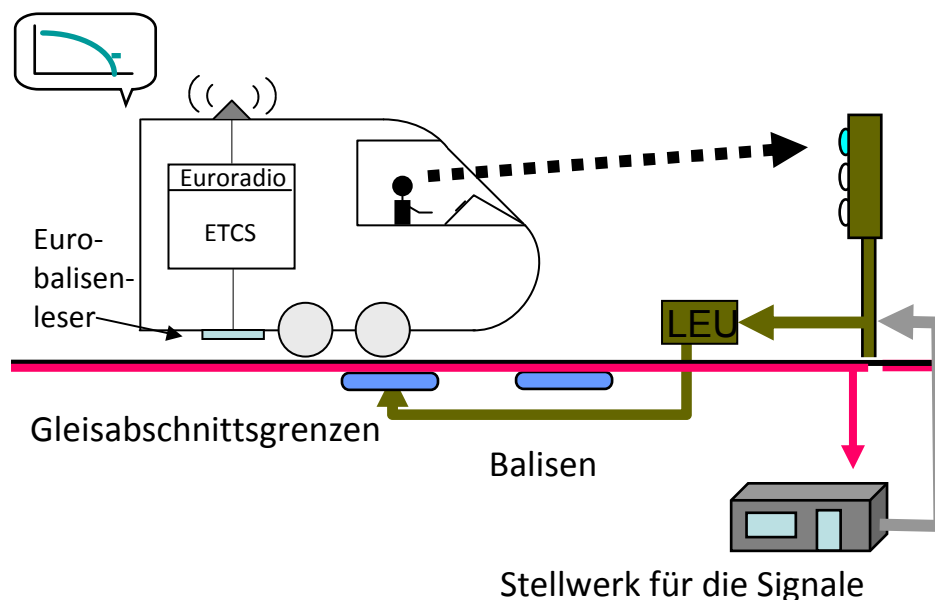


Abbildung 6 ETCS-Level 1 Systemskizze

Das Stellwerk erfasst mit den Gleisfreimeldeinrichtungen den Status der nächsten Blockstrecke und ermittelt daraus den Signalbegriff. Dieser Signalbegriff wird an das Signal übertragen. Eine „Lineside Electronic Unit“ (LEU) wertet diesen Signalbegriff aus und gibt diese Information in Telegrammform an die schaltbare Balise vor dem Signal weiter.

ETCS überträgt in Level 1 die Information des Signalbegriffs, optional inklusive Streckendaten, punktuell durch die im Gleisbett liegenden Eurobalisen über den Balisenleser an das Fahrzeuggerät. Optional ist eine Erweiterung durch semikontinuierliche Übertragungsmedien wie Euroloop oder Funkinseln möglich. Das Fahrzeuggerät führt mit dieser Information die Überwachung der Geschwindigkeit und der noch zu fahrenden Wegstrecke bis zum Ende der Fahrer-

laubnis oder Movement Authority (MA) durch. Fahrzeugseitig erfolgt die Ortung der Fahrzeuge durch die zusätzlich im Gleis liegenden fest programmierten Ortungsbalisen sowie die im Fahrzeug eingebaute Odometrie. Die Gleisabschnitte werden klassisch über streckenseitige Gleisfreimeldeeinrichtungen, meist unter Einsatz von Achszählern, durch herkömmliche Stellwerkstechnik gesichert. Eine Ausrüstung mit ETCS-Level 1 erlaubt im Gegensatz zum heutigen System der punktförmigen Zugbeeinflussung (PZB) eine permanente Überwachung der Geschwindigkeit des Zuges sowie einen internationalen Einsatz von Fahrzeugen auf Strecken, die mit ETCS ausgerüstet sind. ETCS-Level 1 kann im normalen Einsatz mit allen Lichtsignalen und damit mit fast jeder herkömmlichen Stellwerkstechnik kombiniert werden.

2.4.2 ETCS-Level 1 Limited Supervision

Eine zusätzliche Leistungsvariante, die jedoch noch kein Bestandteil der heute verfügbaren ETCS-Spezifikationen ist, ist der ETCS-Level 1 Limited Supervision oder kurz ETCS-L1LS. Es ist ein ETCS-Modus ohne Führerstandssignalisierung, da ETCS die Fahrbewegung nur im Hintergrund überwacht. Der Modus ETCS-L1LS ist parametrierbar. An Punkten mit hohem Gefahrenpotenzial können zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden (restriktive Bremskurvenüberwachung), Punkte mit weniger Gefährdungspotenzial können nur mit einer Warn-/Halt-Überwachung ausgerüstet werden. Eine Erhöhung der Sicherheitsüberwachung geht in dem Fall zu Lasten der Betriebsflüssigkeit und dadurch der Streckenkapazität. Für den deutschen Einsatzfall kann das ETCS-L1LS so parametriert werden, dass es die gleichen Funktionalitäten und mindestens die gleiche Sicherheit wie die in Deutschland eingesetzte PZB 90 gewährleisten kann und darüber hinaus eine technische Interoperabilität bietet.

ETCS-L1LS, stellt aufgrund seiner technischen Konzeption eine Vereinfachung der Infrastrukturinstallation dar. In der ETCS-L1LS-Systemskizze erkennt man im Vergleich zu ETCS-Level 1 deutlich die durchgestrichenen Feldelemente, auf die im Modus ETCS-L1LS verzichtet werden kann. In erster Linie handelt es sich hierbei um die Infill-Elemente als Balise bzw. Loop, die für eine flüssige Fahrweise notwendig sind.

Im ETCS-L1LS-Modus überwacht das Fahrzeuggerät im Hintergrund nur die Notfallbremskurve und nicht wie im Full Supervision die normale Bremskurve. Dadurch ist auch eine einfachere Projektierung der Balisen/LEUs möglich. ETCS-L1LS war bis vor kurzem nicht in der ETCS-Strategie der DB AG enthalten.

ETCS-Level 1 Limited Supervision

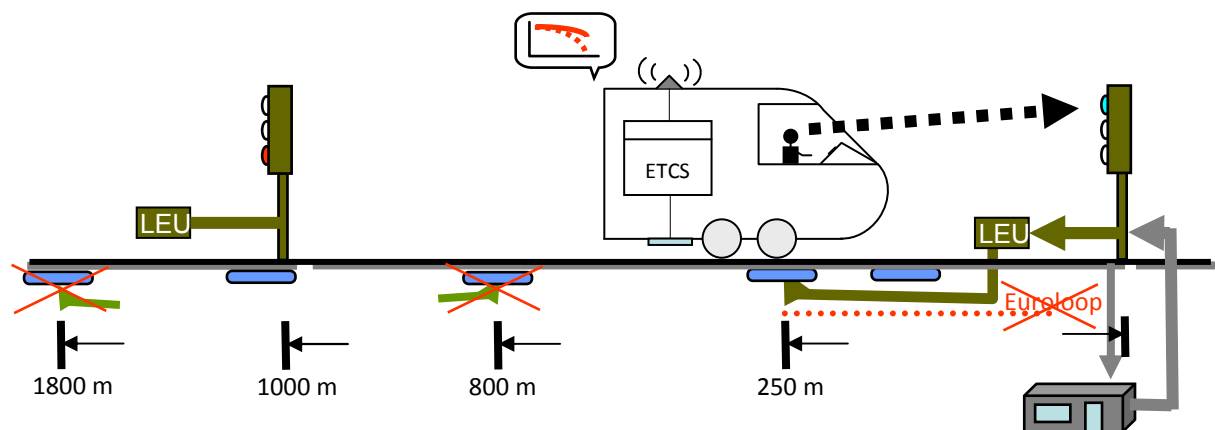


Abbildung 7 ETCS-Level 1 Limited Supervision Systemskizze

Nach einer intensiven Kostenuntersuchung wurde im August 2007 ETCS-L1LS als Baustein in der ETCS-Migrationsstrategie der DB AG aufgenommen. Dieser Baustein wurde ebenfalls in die offizielle Migrationsstrategie der Bundesregierung übernommen.

2.4.2.1 Legaler Zustand von ETCS-L1 Limited Supervision

ETCS-L1LS ist eine Variante des ETCS-L1 und steht nach bisheriger Lesart erst mit der SRS 3.0.0 zur Verfügung. Der Vorteil von ETCS-L1LS in Deutschland gegenüber der vollen Ausprägung von ETCS-Level 1 liegt auf der Infrastrukturseite in der Einsparung von Infill-Elementen im Feld bei mindestens gleicher Streckenkapazität wie bei der PZB. Durch den Einsatz von ETCS-L1LS in Deutschland ist es möglich, die Stellwerksinvestitionsstrategie weitgehend von der ETCS-Investitionsstrategie zu entkoppeln.

ETCS-L1LS kann in Deutschland auf der Infrastrukturseite nur eingesetzt werden

- bei Geschwindigkeiten kleiner/gleich 160 km/h, da oberhalb dieser Geschwindigkeit in Deutschland das führerraubasierte Fahren mit elektrischer Sicht in dem Bahnbetriebsregelwerk 483 vorgeschrieben ist. Diese Anforderung ist in der Regel nur über ETCS-Level 2 und 3 erreichbar.
- bei ausreichender Streckenkapazitätsreserve für die Verkehrsprognose bis 2020. Falls die Streckenkapazitätsanforderung darüber hinaus geht ist nur der Level 2/3 möglich.
- unter Beibehaltung der Bedienphilosophie der Triebfahrzeugführer in einem Streckenabschnitt von mindestens 50 km Länge (Wechsel zwischen Führerraum- und Außensignalsignalisierung)
- bei weiterhin geltenden nationalen Betriebsregeln.

Um ETCS-L1LS auf der Infrastrukturseite zu nutzen, ist es erforderlich, dass die Onboard-Fahrzeuggeräte fähig sind diesen Modus zu unterstützen. Zurzeit ist die Aufnahme dieses Modus in der System Requirement Specification SRS 3.0.0 vorgesehen.

Auf der Fahrzeugseite besteht ab der Version SRS 3.0.0 kein Unterschied mehr, da das Fahrzeuggerät dann diese Funktion beherrscht. Fahrzeuge mit einer niedrigeren ETCS-Version können Strecken mit Limited Supervision nicht befahren.

Die Zielvorstellung der Europäischen Kommission geht davon aus, dass Produkte mit einer Software-Version gemäß der System Requirement Specification SRS 3.0.0, die unter anderem die Funktion Limited Supervision enthalten, Ende 2011 zur Verfügung stehen. Hierbei differiert die Vorstellung der EU von der der Signalbauindustrie, die einen Zeitpunkt nach 2012 dafür angibt.

2.4.2.2 Vorteile durch Einsatz von Limited Supervision

Die Vorteile der Beschleunigung der ETCS-Migration durch den Einsatz von ETCS-L1LS können wie folgt zusammengefasst werden:

- Entkopplung der Stellwerksinvestition von der Investition in Zugbeeinflussungssysteme.
- Beibehaltung der gleichen Bedienung wie das existierende Class B-System ohne großen zusätzlichen Schulungsbedarf für Lokführer (bei reiner Nutzung der ETCS-L1LS Strecken).
- In einer Übergangszeit (SBB) ist der Einsatz zukunftssträchtiger Hardware wie Balisen und LEUs noch mit altem Class B-Protokoll nutzbar, bevor nach einem Software-Upgrade diese Hardware TSI-konform eingesetzt werden kann.
- Durch die Skalierbarkeit von ETCS-L1LS ist die Realisierung von höherer Streckenkapazität und höherer Sicherheit, dort wo notwendig, parametrierbar.
- Erreichung der Interoperabilität bei neuen Fahrzeugen mit der SRS 3.0.0.: Fahrzeuge können dann mit ETCS das gesamte Streckennetz befahren.
- Vermeidung des Ersatzes der Stellwerkstechnik, da der Abgriff des Signalbegriffs bei ETCS-L1LS direkt am Lampenstrom erfolgt.
- Optimierungsmöglichkeiten bei anderen Sicherheitssystemen, da ETCS den höchsten erreichbaren Sicherheitslevel SIL 4 aufweist. Dies kann anhand von Risikobetrachtungen an anderen Stellen zu kostenoptimierten Lösungen führen, da die Sicherheit per se durch ETCS

hergestellt wird und nicht mehr von zusätzlichen Signalsystemelementen sichergestellt werden muss.

Der Punkt

- Fahren nach den nationalen Betriebsregeln

bleibt ein von allen Seiten zu beleuchtender Punkt und ist in jedem Land bzw. für jeden Infrastrukturbetreiber individuell zu beantworten.

2.4.3 ETCS-Level 1 Radio Infill

Die italienische Infrastrukturgesellschaft RFI legt ihre Präferenz auf eine weitere Variante des Level 1, dem ETCS-Level 1 Radio Infill.

Zusätzlich zu den ETCS-Level 1-Funktionen ermöglicht der Radio Infill über die elektrische Sicht die Vorausschau auf zwei Blockabschnitte, den nächsten und den übernächsten. Anders als bei ETCS-Level 1 wird der Signalbegriff nicht nur von dem nächsten Signal sondern auch von dem übernächsten Signal für eine flüssigere Fahrweise im EVC verarbeitet. Die Übertragung des Signalbegriffes erfolgt vom Signal zum EVC durch den Einsatz von sogenannten Radio Infill Units (RIUs), die, angebracht an jedem Signal, den Signalbegriff über GSM-R an das Fahrzeug transferieren. Um die Verbindungsaufnahme zwischen EVC und Signal RIU zu starten überfährt der Zug in ausreichendem Abstand vor dem Signal eine Kontaktaufnahme-Balise. Um die Verbindungsaufnahme zwischen EVC und Signal RIU zu starten überfährt der Zug in ausreichendem Abstand vor dem Signal eine Kontaktaufnahme-Balise.

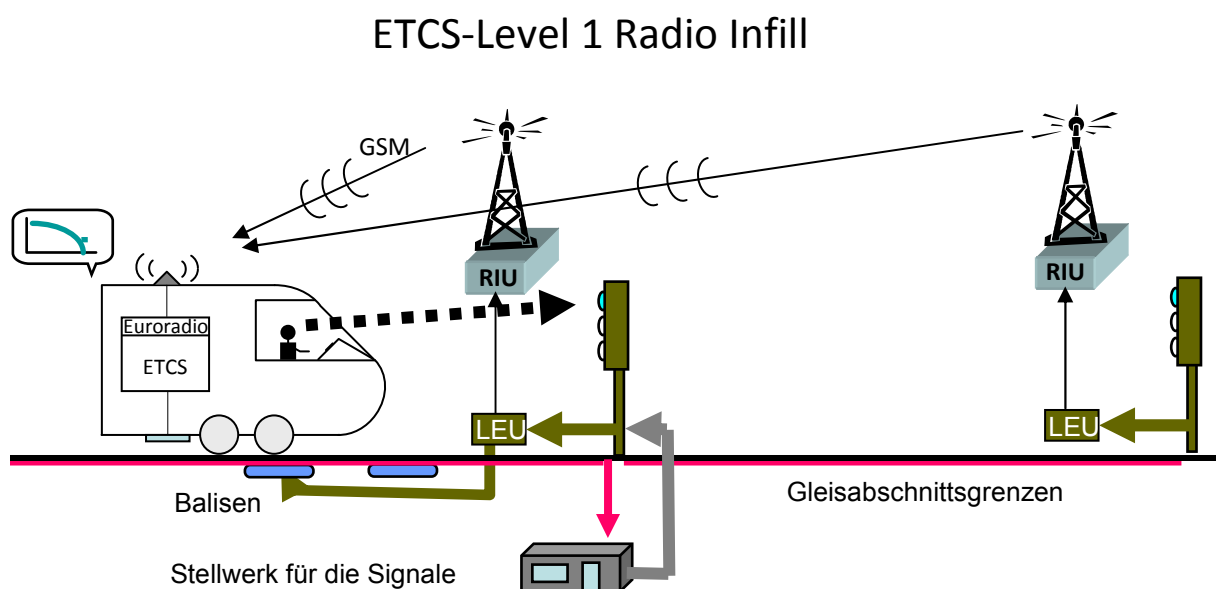


Abbildung 8 ETCS-Level 1 Radio Infill Systemskizze

Diese veranlasst den Zug über Funk, das nächste wie auch das übernächste Signal anzufunkern, um die Strecken- und Fahrinformation zu erhalten. Aufgrund

der Philosophie steht dadurch der EVC immer mit zwei RIUs über GSM-R in Kontakt. Das dadurch auch im Zug ein zusätzliches GSM-R Gerät erforderlich ist, verteuern sich in dieser Variante die Onboard-Kosten.

Auch dieses System ist in der Grundanwendung lediglich an die Signale gekoppelt und hat normalerweise keine Schnittstelle zum Stellwerk. Eine Stellwerks-erneuerung ist aufgrund des Einsatzes von ETCS dadurch nicht erforderlich. Diese Konfiguration ist allerdings aufgrund des hohen Funkverkehrs nur für schwache bis mittelstarke Verkehre einsatzfähig da der Zug zusätzlich zur Sprachkommunikation zwei weitere GSM-R Kanäle für ETCS verwendet. Diese Variante, die für sich grundsätzlich in der ETCS-Funktionalität enthalten ist, wurde in den letzten fünf Jahren von dem italienischen Eisenbahninfrastrukturbetreiber RFI in deren Strategie aufgenommen. Zur Nutzung von Radio Infill sind allerdings noch Präzisierungen in der Funktionsbeschreibung notwendig, die erst bei der nächsten legalen ETCS-Version SRS 3.0.0 berücksichtigt werden [SEN07].

2.4.4 ETCS-Level 2

Im Level 2 kann auf streckenseitige Signale verzichtet werden. Die Ortung der Zugposition erfolgt über Balisen und der Odometrie, die zurzeit unter anderem aus Dopplerradar und Radsensoren besteht. Diese Standortmitteilung wird über das Euroradio mit GSM-R an die Streckenzentrale übermittelt. Die Streckenzentrale aus Stellwerk zusammen mit dem „Radio Block Center“ (RBC) meldet dem Zug die Informationen wie z.B. Fahrterlaubnis, Zielpunkt und zulässige Geschwindigkeiten über Funk mit GSM-R zurück. Die Streckenzentrale erhält die Meldung der freien Gleisabschnitte konventionell über Gleisfreimelde-einrichtungen. Das Fahrzeuggerät stellt diese Information im Führerraum dar. Bis auf einzelne Ortungsbalisen zur präzisen Standortbestimmung der Züge ist nur noch eine Blockstreckenfreimeldeeinrichtung auf der Infrastrukturseite erforderlich. Die Zugvollständigkeit wird durch streckenseitige Gleisfreimelde-einrichtungen überwacht und durch herkömmliche Stellwerkstechnik gesichert.

Die Vergabe einer Fahrterlaubnis ist nicht mehr an Zielpunkte der Fahrstraßen gebunden, sondern der Fahrweg kann, bei entsprechender Funktionalität im Stellwerk, in kleineren Einheiten vergeben und dadurch die Performance der Strecke, insbesondere in Bahnhöfen, erhöht werden.

ETCS-Level 2

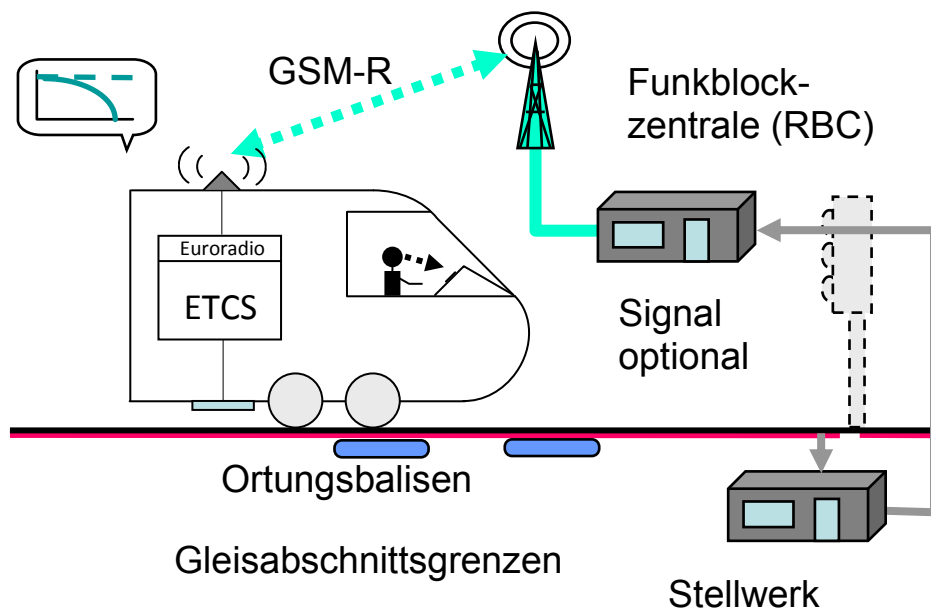


Abbildung 9 ETCS-Level 2 Systemskizze

Der Einsatz von ETCS-Level 2 setzt voraus, dass das RBC die Streckeninformation erhält. Dies erfolgt am einfachsten durch die Ankopplung des RBC an neue elektronische Stellwerke. Stehen diese nicht zur Verfügung, so ist teilweise eine Ankopplung von neueren Relaisstellwerken über Fernsteuerungen möglich.

In vielen Fällen, gerade in Deutschland, existieren heute noch viele Relaisstellwerke die heute noch nicht Ihr Lebensende erreicht haben. Diese vor Ende des technischen wie buchhalterischem Lebensende abzulösen ist wirtschaftlich nicht sinnvoll. Eine Lösung um die Erneuerung zu Umgehen bietet sich in der Fernsteuerung des Relaisstellwerkes über ein elektronisches Nachbarstellwerk, das mit einem RBC verbunden ist an. Dieses kann dadurch die Wirkbereichsinformationen des Relaisstellwerkes zusätzlich verarbeiten. Die ETCS-Level 2 geführten Züge erhalten dann die Streckeninformation und Signalbegriffe des Wirkbereiches des Relaisstellwerkes. Die Fernsteuerlösung setzt im Allgemeinen eine weitere Lebenserwartung des Relaisstellwerkes von mindestens noch 15 Jahren voraus. Eine wirtschaftliche Entwicklung und ein Betrieb dieser Fernsteuerungslösung setzt eine genügend große Anzahl an Einsatzfällen voraus die bei einer kleinen Anzahl von Stellwerken nicht immer gegeben ist.

Besteht nicht die Möglichkeit einer Fernsteuerung, so besteht zusätzlich die Möglichkeit den Wirkbereich bzw. die Strecke durch den Wirkbereich des nicht in ein RBC eingebundenen Altstellwerkes als einen Streckenblock zu betrachten. Der Zuglauf muss in diesem Fall über die Zugnumtermeldeanlage an die beidseitig an den Wirkbereich des Altstellwerkes angrenzenden Stellwerken mit RBC entsprechend verarbeitet werden.

Die schwierigste Anbindung ist die Ableitung der Streckeninformation aus der Zugnumtermeldeanlage bei gleichzeitiger Belassung des örtlich bedienten Stellwerkes.

Außer dem Anschluss an neue elektronische Stellwerke bergen die anderen Alternativen hohe realisierungs-, entwicklungs- und kostentechnische Risiken, da es sich hierbei immer um Sonderlösungen in sehr geringen Stückzahlen handelt. In den meisten Fällen ist der Neubau eines Stellwerkes unumgänglich. Auf Fahrzeugseite ist immer ein vollwertiges TSI-konformes ETCS-Gerät erforderlich.

2.4.5 ETCS-Level 3

Der Level 3 unterscheidet sich in einem wesentlichen Punkt von Level 2: Im Level 3 wird die Zugvollständigkeit nicht streckenseitig sondern durch eine fahrzeugseitige Einrichtung überwacht. Die Zugfolge wird auch hier immer noch durch Funktionen der Streckenzentrale gesichert.

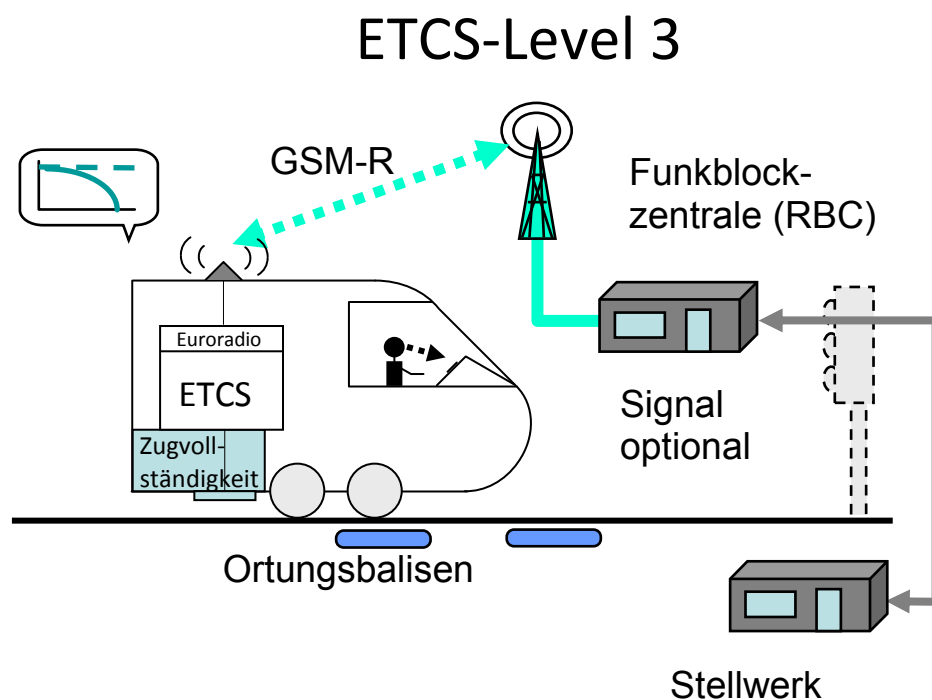


Abbildung 10 ETCS-Level 3 Systemskizze

Die streckenseitigen Gleisfreimeldeeinrichtungen können entfallen und ermöglichen so Zugfolgeabstände bis hin zum absoluten Bremswegabstand (Moving Block) anstatt einer starren Blockteilung der Strecke.

Neben der Reduzierung des Stellwerksaufwands ist eine Erhöhung der Streckenkapazität um bis zu 20% im Vergleich zu ETCS-Level 2 möglich [WEN07]. Für die Fahrzeuge bedeutet ETCS-Level 3 eine zusätzliche Funktion: Die Zugin-

tegritätsüberprüfung. Diese Funktion stellt sicher, dass das Ende eines Zuges in gleicher Geschwindigkeit und Abstand dem Zuganfang folgt. Lässt sich diese Funktion bei Triebzügen in den meisten Fällen aufgrund der Datenkommunikation der Steuerstände sehr einfach sicherstellen, so ist diese Funktion für Güterzüge heute international sehr schwer zu realisieren. Da ein Güterzug in der Regel im Gegensatz zu einem Triebzug aus Wagen unterschiedlichster Herkunft und Beschaffenheit zusammengestellt wird, ist die einzige standardisierte durchgängige Verbindung die Bremsleitung. Untersuchungen, die Bremsleitungen für die Zugintegritätsprüfung zu nutzen, führten bis heute nicht zu dem gewünschten Erfolg. Andere technische Lösungen für Güterwagen sind zurzeit international noch nicht in Sicht. Die Situation bei lokbespannten Reisezugwagen stellt sich ähnlich wie bei den Güterwagen dar. Ein durchgängiges internationales Konzept für eine Zugintegritätsprüfung ist nicht verfügbar. Für abgeschlossene Netze und eine nur dort eingesetzte homogenen Fahrzeug- bzw. Zugflotte ist der Level 3 effizient nutzbar. Die chinesische Personenstrecke über den Himalaya ist ein gutes Beispiel dafür. Es verkehrt dort nur eine Flotte an Personenzügen. Auf der Strecke sind weder Signale noch Gleisfreimeldeinrichtungen vorhanden.

Auch in Regionalverkehren auf abgeschlossenen Netzen ist der Einsatz von ETCS-Level 3 wirtschaftlich sinnvoll, vor allem wenn die Fahrzeuge nur ein oder zweigliedrig unterwegs sind. Auf ETCS-Level 2-Strecken können im Mischverkehr ETCS-Level 2 und ETCS-Level 3 geführte Fahrzeuge unterwegs sein. Die Gleisfreimeldung wird dabei über die infrastrukturseitige Sicherung hergestellt.

Auf ETCS-Level 3-Strecken können ETCS-Level 2 geführte Fahrzeuge nur mit betrieblicher Sicherung durchgeführt werden. Dies führt in vielen Fällen zur Einschränkung der Kapazität da im ungünstigsten Fall die Gleisfreimeldung durch eine Sichtprüfung des Fahrdienstleiters durchgeführt werden muss.

2.4.6 ERTMS-Regional

ERTMS-Regional ist eine ETCS-Variante für schwach belastete Strecken auf Basis von ETCS-Level 3 für abgeschlossene Netze und wird bevorzugt auf eingleisigen Strecken verwendet.

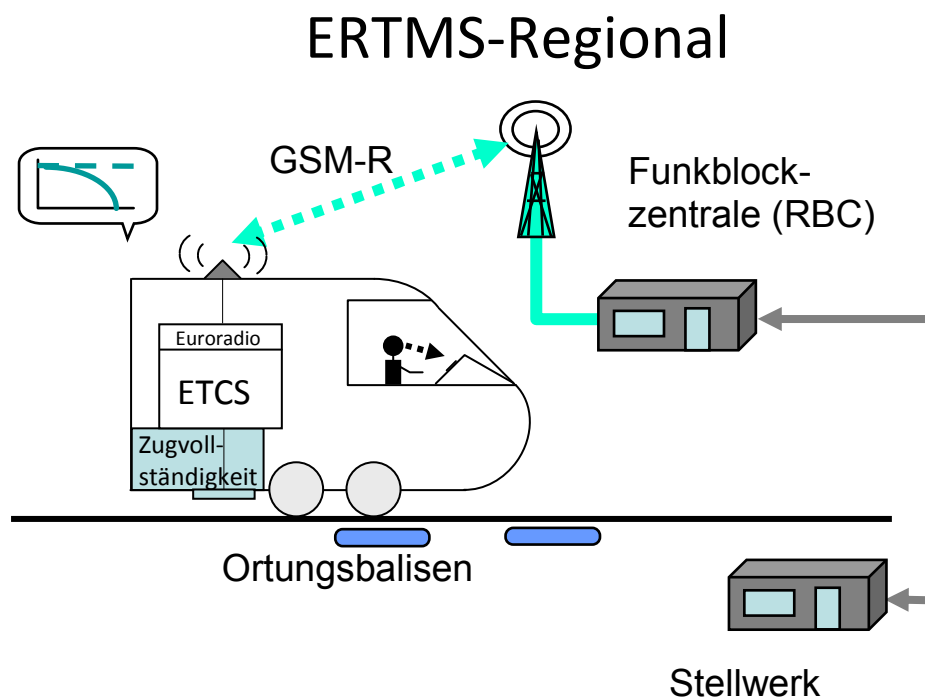


Abbildung 11 ERTMS-Regional Systemskizze

Zusammen mit sehr einfacher Stellwerkstechnik und ohne Signale besteht hier ein großes Sparpotential. Das schwedische Eisenbahninfrastrukturunternehmen Banverket [BAN06] hat dieses System maßgeblich mit entwickelt und auf den ersten Teststrecken bereits eingesetzt. Aufgrund der noch nicht fertigen und abgestimmten Spezifikation ist dieses System noch nicht TSI-konform einsatzfähig. Der Einspareffekt erfolgt in erster Linie auf der Infrastrukturseite. In Deutschland sind durch die hohe Streckenbelastung die Einsatzmöglichkeiten dieses Systems auf sehr wenige Strecken beschränkt. Dort gilt es auch unter Berücksichtigung der zugelassenen Stellwerkstechnik zu überprüfen, ob es sinnvoll ist, den Weg der Zulassung und des Einsatzes zu gehen. Auf Fahrzeugseite wird in Schweden ein eingliedriges Schienenbussystem eingesetzt. Die Problematik eines Zugintegritätssystems, das bei ETCS-Level 3 zwingend erforderlich ist, ist dadurch nicht gegeben.

Der Übergang von den Regionalstrecken mit ERTMS-Regional auf Strecken mit ETCS-Level 2 oder 1 kann dadurch ohne Probleme erfolgen.

2.5 Festlegung des ETCS-Level auf Infrastrukturseite

Wie beispielhaft aus der schwedischen Migrationsstrategie [BAN06] zu ersehen ist, ist eine genauere Betrachtung der Strecken notwendig, um jeweils den entsprechenden ETCS-Level festzulegen. Eine große Rolle spielt dabei der für die entsprechende Streckenkategorie notwendige Automatisierungsgrad.

Am Beispiel der schwedischen Infrastruktur in Tabelle 1 folgt ein Vergleich der Streckenkategorien im Verhältnis zum Gesamtnetz und dem dort zugeordneten Alter der Stellwerke. Jedes Infrastrukturunternehmen hat hierbei ein mehr oder weniger stark differenziertes Clusterdenken. Der Trend der Ausrüstung an Stellwerkstechnik und Zugbeeinflussungssystemen orientiert sich mehr und mehr an diesen Streckenstandards. Als Attribute zur Festlegung der Standards gehen folgende Punkte in die Überlegung mit ein:

- Streckenbelastung/Kapazität
- Personen-/Güter-/Mischverkehr
- Gefahrene Geschwindigkeit
- Traktionsenergie

Sie bestimmen neben Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen den Ausrüstungsstandard für den Schienenoberbau und die Leittechnik. Die ETCS-Level-Entscheidung ist ebenso von diesen Faktoren abhängig.

Kategorie	Beschreibung	TEN Zugehörigkeit	% des Gesamtnetzes	Sicherungstypen	Altersstruktur Stellwerke
A	Hochgeschwindigkeitslinie	DIR 96/48	22% (2138 Km)	Ferngesteuert mit vollständigem Class B-System (ATB)	10-50 Jahre
B	Konventionelles Netz	DIR 2001/16	24% (2316 Km)	Ferngesteuert mit vollständigem Class B-System (ATB)	10-50 Jahre
C	Andere Hauptlinien	-	28% (2665 Km)	Ferngesteuert mit vollständigem Class B-System (ATB)	10-50 Jahre
D	Örtlich bediente Strecken	-	22% (2116 Km)	Örtlich bedient mit ATB	Zum Teil erheblich älter

Tabelle 1 Beispielhafte Streckenkategorisierung Schwedens

Betrachtet man das eine Ziel der Infrastrukturunternehmer aufgrund der Einsparung von Wartungs- und Instandhaltungsaufwände an der Strecke sowenig Feldelement wie möglich einzubauen, so bietet sich hier ETCS-L2/3 an. Dieses Ziel konkurriert mit der Verfügbarkeit der GSM-R-Frequenzen und Kanäle. Eine Einzelfallbetrachtung ist in jedem Fall notwendig.

Für die Fahrzeugseite macht es technisch gesehen keinen Unterschied ob auf einer ETCS-L2 oder L1 Strecke gefahren wird. Die zu betrachtenden Umständen liegen eher in der Bedienung der Zugbeeinflussungssysteme. Ein ständiger Wechsel der Bedienphilosophie von führerstand- auf signalgeführte Bedienweise ist dem Triebfahrzeugführer nicht zuzumuten. Eine Faustregel die eine Bedienphilosophieänderung nur alle 50 Km zulässt, darf bei den Überlegungen auf Infrastruktureseite nicht außer acht gelassen werden.

2.6 Die System Requirement Specification

Die Funktionalität des elektronischen Zugbeeinflussungssystems ETCS wird in erster Line in der System Requirement Specification, SRS, beschrieben.

Diese Funktionen werden zwischen den Bahnen und der Industrie abgestimmt und über das Artikel-21-Komitee der EU, in dem alle Mitgliedsstaaten vertreten sind, in einer gültigen Version zum gesetzlichen Standard erhoben.

Dieses abgestimmte Vorgehen soll vermeiden, dass in den einzelnen Ländern die ETCS-Funktionen unterschiedlich interpretiert und damit der grenzüberschreitende Verkehr erschwert wird.

Durch die vielen nationalen Besonderheiten gestaltet sich dieser Prozess sehr schwierig. Aus diesem Grunde wurde von dem Ziel, erst mit der vollständigen Version der SRS 3.0.0 zu starten, abgewichen, um den ersten interoperablen Verkehr bereits mit einer Zwischenversion der SRS 2.3.0(d) durchzuführen. Die Version 2.3.0(d) soll bereits heute den interoperablen Verkehr sicherstellen, ohne dass sie alle Funktionen enthält, die die Endversion beinhalten soll.

Der von der Europäischen Kommission vorgezeichnete Weg zur SRS 3.0.0, der zugelassene Produkte in 2012 vorsieht, wird zurzeit von der Industrie als zu enthusiastisch angesehen [FAU07]. Die Industrie rechnet mit ca. 3 Jahren Zeitverzug gegenüber der ursprünglichen Planung der Produktverfügbarkeit unter SRS 3.0.0. Der erste Entwurf der SRS 3.0.0 wurde im Januar 2009 offiziell auf der EU- Internetseite veröffentlicht und wird zurzeit diskutiert.

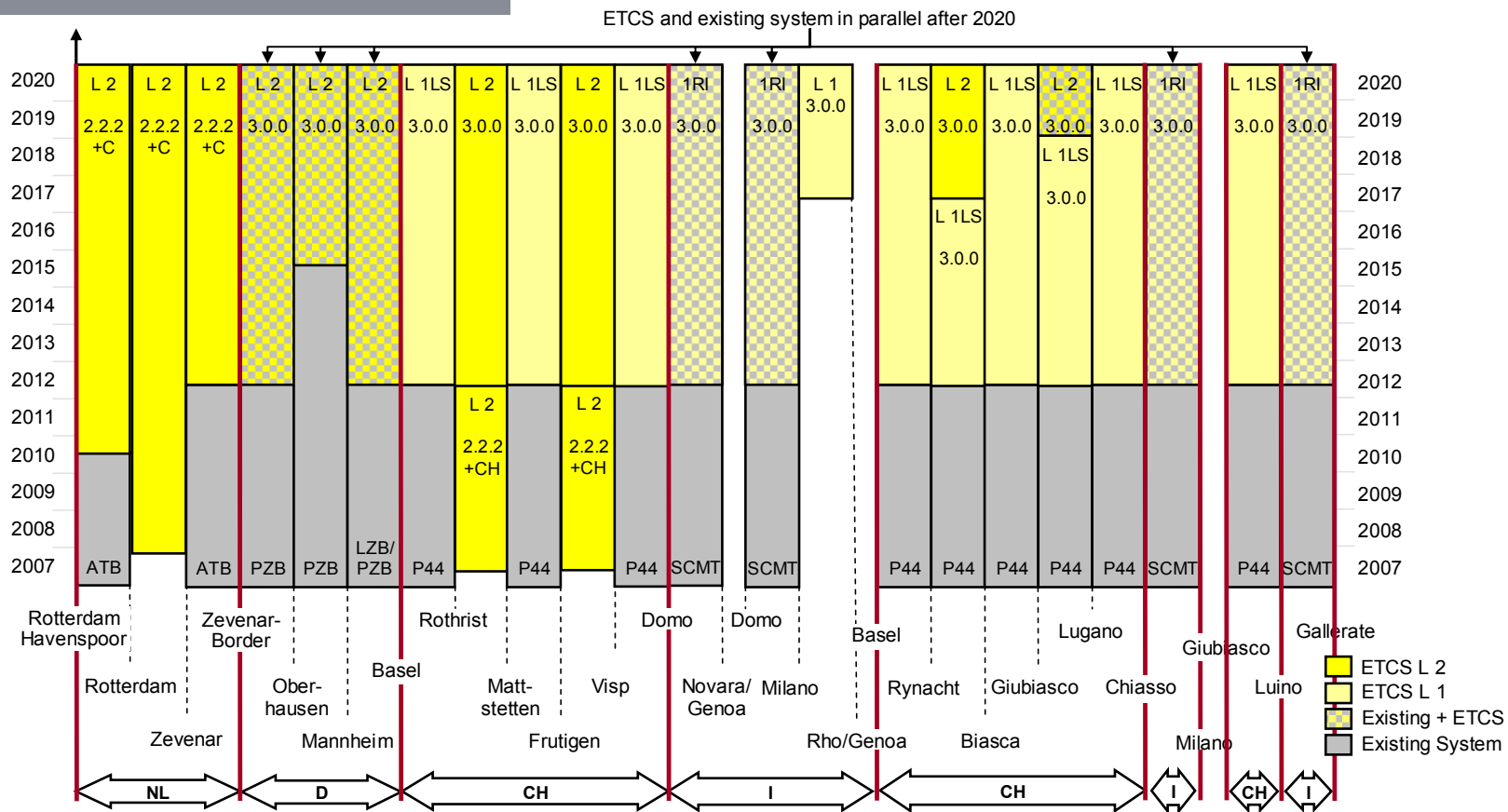
Als zeitkritischer Pfad wird die Ausrüstung des deutschen Teils des Güterverkehrskorridors A von Rotterdam nach Genua mit der SRS 3.0.0 bis 2012 angesehen, der bis zu diesem Zeitpunkt von Rotterdam bis Oberhausen und von Mannheim bis Genua mit ETCS befahrbar sei soll.

Die Schwierigkeiten, die durch unterschiedliche Startzeitpunkte der ETCS-Implementation auf Infrastruktureseite entstehen, verdeutlicht exemplarisch der Güterverkehrskorridor A von Rotterdam nach Genua in Abbildung 12.

Measures and Implementation Plan

The Migration Concept shows that the Netherlands and Switzerland avoid phases of parallel signalling systems. In Germany and Italy PZB/SCMT is planned to remain after 2020.

Rotterdam – Genoa Corridor A
Programme Management Office



© PMO. All rights reserved. PMO (S. Wendel), Business Plan

Chart No. 1

Abbildung 12 Zugbeeinflussungssysteme auf dem Korridor Rotterdam Genoa [WES07]

Dieser Korridor führt durch vier Länder und betrifft fünf Infrastrukturbetreiber. Die Fahrzeugausrüstung und damit deren Software trägt die Hauptproblematik der Interoperabilität. Das Fahrzeuggerät muss alle Funktionen aller Strecken verstehen, auf denen es unterwegs ist. Die Leit- und Sicherungstechnik der Strecke benötigt nur die Funktionen, die diese Strecke für den Betrieb vorschreibt. In Abbildung 13 ist der Upgrade-Aufwand nach heutiger Lesart eingezeichnet um die nächste SRS-Version auf Fahrzeug und Strecke zu erhalten. Dieser Aufwand ist heute, da noch nirgendwo in Europa durchgeführt nicht bestätigt. Die zurzeit nicht greifbaren Risiken, die das reine Software-Update unterlaufen können, werden in den Rechnerkapazitäten gesehen, die durch zusätzliche Funktionalitäten überfordert sein könnten. Zusätzlich können die nach alten Spezifikationen eingesetzten Funkgeräte eventuelle neue Funktionalität in der Paketdienstübertragung noch nicht. Zur Minimierung dieser Risiken ist ein bewusster Umgang mit dem Upgrade und der Upgrade-Notwendigkeit notwendig.

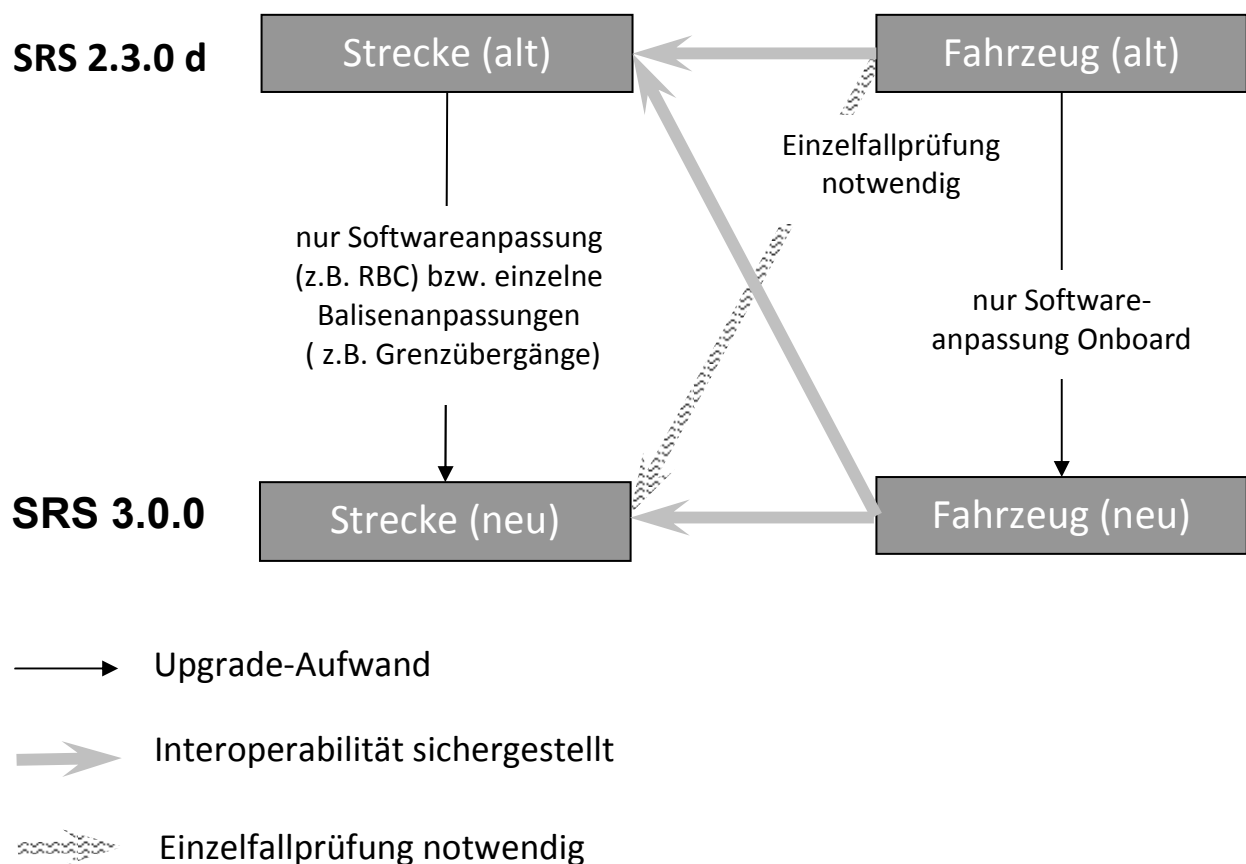


Abbildung 13 Upgrade-Aufwand

Ein Versionsmanagement innerhalb der ETCS-Software soll sicherstellen, dass unterschiedliche Versionen von Fahrzeug und Strecke dennoch zu einem sicheren Betrieb führen. Verschiedene Sprachregelungen zur ETCS-Migration zwischen Infrastrukturbetreibern und Industrie versuchen die Unterschiede so klein wie möglich zu halten.

Die SRS-Versionen werden in sogenannten Baselines unterschieden. Ausgedrückt durch die Zahl vor dem Punkt, der Ordnungsnummer, ist zurzeit die Baseline 2 gültig. Während die Differenzierung innerhalb einer Baseline x.2, x.3, x.4 lediglich Funktionserweiterungen bzw. Fehlerbereinigungen innerhalb der Funktionsgruppen beinhalten, erhöht sich die Ordnungsnummer bei grundsätzlichen Funktionsunterschieden.

Die Abbildung 14 zeigt die Kompatibilität der einzelnen Softwareversionen, wenn nicht ein Update durchgeführt wird. Die kritische Situation ist dabei die alte SRS-Version im Fahrzeug bei bereits neuer SRS-Version in der Streckeninfrastruktur.

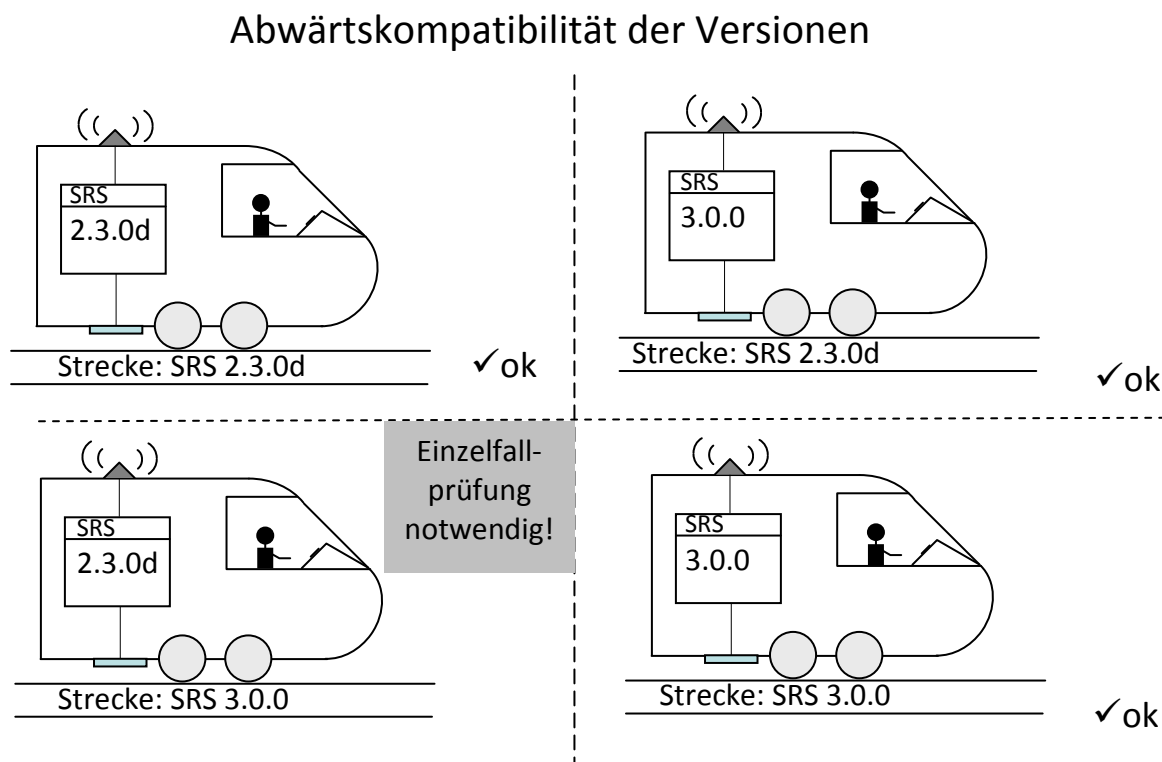


Abbildung 14 Abwärtskompatibilität Fahrzeug-Strecke

Ausgehend von einer festgelegten Abwärtskompatibilität ab der Version 2.3.0 d soll es möglich sein, dass Fahrzeuge, deren SRS-Version eine höhere Baseline als die der Strecke aufweisen, die Strecke ohne Einschränkungen befahren

können. Besitzt die Strecke eine höhere Baseline, so bedarf es einer Einzelfallprüfung, ob das Fahrzeug die Strecke befahren kann. Sollten auf der Strecke nur Funktionen implementiert sein, die die Fahrzeugsoftware interpretieren kann, so steht der Fahrt dieses Fahrzeugs auf der Strecke mit einer höheren Nummer nichts entgegen. Einzelprüfungen sind auch dann erforderlich, wenn RBC-Bereiche mit unterschiedlichen SRS-Baselines aneinanderstoßen, wie dies im grenzüberschreitenden Betrieb zum Teil vorkommt.

2.6.1 Abstimmungsprozess für eine neue ETCS-Version

Das europäische Zugsicherungssystem ETCS soll bei allen europäischen Bahnen eingesetzt werden können. Dazu ist es notwendig, die jeweiligen betrieblichen Eigenschaften des Bahnbetriebes in Funktionen zu hinterlegen. Die Summe dieser Funktionen ist die ETCS-Systemspezifikation, die System Requirement Specification oder kurz SRS.

Zur Sicherstellung, dass es sich hierbei um einen international abgestimmten Satz an Funktionen handelt, wurde ein Prozess eingeführt, bei dem alle Bahnen ihre Wünsche und ihren Bedarf anmelden können, Lösungen für aufgetretene Fehler diskutiert und Fehler in der Spezifikation bereinigt werden sollen. Jeder einzelne Vorgang kann dazu führen, dass die aktuelle Spezifikation geändert werden muss. Dazu wird ein sogenannter Change Request, CR, platziert.

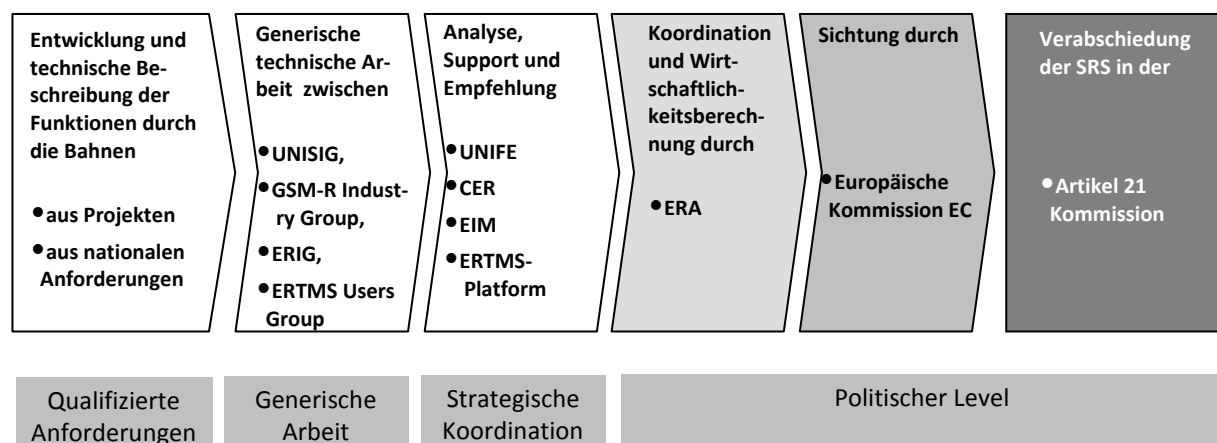


Abbildung 15 Abstimmungsprozess für eine neue SRS-Version

Dieser CR wird international in verschiedenen technischen und wirtschaftlichen Arbeitsgruppen inklusive Machbarkeit bei der UNIFE/UNISIG bewertet und abschließende über die ERA gebündelt und zu einem neuen Satz an Funktionen einer neuen Version zusammengestellt. Sobald ein Bündel oder Basket von neuen Funktionen zusammengestellt ist, steht der Entwurf für eine neue SRS-Version. Damit diese rechtlich und legal benutzt werden kann, muss diese Ver-

sion im Artikel-21-Komitee beschlossen werden. Der komplizierte Abstimmungsprozess ist in der Abbildung 15 verdeutlicht. Zurzeit ist die SRS-Version 2.3.0(d) die legale Version. Die nächste Version SRS 3.0.0 ist in Vorbereitung. Der erste offizielle Entwurf wurde im Januar 2009 durch die ERA veröffentlicht.

2.7 Kostentreiber Infrastruktur

Die eigentlichen Kosten der Migration hin zu einem mit ETCS ausgerüsteten Netz sind nicht die reinen Hard- und Softwarekosten für ETCS.

Die sekundären Kosten einer Einführung eines neuen Systems wiegen hier viel schwerer:

- Doppelausrüstung von Fahrzeug und Strecke mit ETCS
- GSM-R-Ausrüstung mit entsprechender Verfügbarkeit und entsprechender Dienstgüte (QoS)
- Gemeinsame Zulassungskosten des Systems Strecke-Fahrzeug
- Langfristige Bereitstellung von Testfahrzeugen zur Infrastrukturabnahme mit gleichzeitigem Ausfall im kommerziellen Betrieb
- Erneute Auslandszulassung von Fahrzeugen
- Prozesskosten durch internationale Zulassungsprozeduren
- Zusätzliche Upgradekosten für Strecken wie Fahrzeuge bei zu früh begonnenem Einsatz von ETCS (nicht stabile ETCS-Version)
- Bau beziehungsweise Ersatz von elektronischen Stellwerken als Grundvoraussetzung von ETCS-Level 2

Dabei werden die generischen Kosten

- Entwicklung der Spezifikationen
- Entwicklung der Lastenhefte
- Internationale Abstimmung der ETCS-Versionen
- Internationale Abstimmung von nationalen ETCS-Migrationsplänen
- Abstimmung von internationalen Bedienregeln
- Prototypen-Entwicklung
- Prototypen-Zulassung

meistens unterschätzt.

Eine notwendigerweise durchgeführte Wirtschaftlichkeitsberechnung muss alle diese Punkte berücksichtigen um eine valide Aussage treffen zu können. Gera-

de bei alternativen Szenarien ist eine vollständige Kosten- und Effekteübersicht notwendig.

2.7.1 Verzicht auf Signale

Wie auch bei [PTS07] diskutiert, besteht auf der Infrastrukturseite bei ausschließlichem Einsatz von ETCS die Möglichkeit des Verzichtes von Signalen. Auf der Positivseite steht eindeutig eine kostengünstigere Infrastruktur auf der Stellwerksseite. Diese Lösung ist für den Einsatz von ETCS-Level 2 und 3 prädestiniert. Ein Wegfall der Signale ist allerdings auch hier nicht zu 100% möglich. Rangiersignale werden weiterhin notwendig sein. Auch ist das Thema einer Rückfallebene bisher nicht endgültig gelöst. Verschiedene Lösungen mit einzelnen Balisen oder aber auch vereinzelter Signale sind in individuellen Projektierung zu finden. Dies führt zu einer signifikanten Kostenreduzierung bei der Implementierung von ETCS.

Nicht ganz unproblematisch ist der Wegfall von Signalen bei ETCS-Level 1. In dem Fall, in dem das Fahrzeug vor einem fiktiven Signal stehen bleiben muss, muss dem Triebfahrzeugführer in geeigneter Weise mitgeteilt werden, dass sich der Signalbegriff ändert. Dazu sind im Normalfall Signale notwendig. Diese können je nach Anforderungen des Betriebes auch vereinfacht gegenüber dem Vollausbau realisiert werden. Die Einsparung an Kabel, Ein- und Ausgabemodulen, Platzbedarf etc. ist dann allerdings nur geringfügig gegenüber dem Vollausbau mit Signalen.

2.7.2 Kostenvergleich verschiedener ETCS-Level auf Infrastrukturseite

Ist die Entscheidung auf der Infrastrukturseite für einen bestimmten Level nicht vom Verkehr getrieben, so können auch die Ausrüstungskosten die Entscheidung beeinflussen. Dazu ist es wichtig, welche Elemente die Kosten in den einzelnen Stufen treiben.

Die wesentlichen Kostenelemente bei Limited Supervision sind bei einer Standard Applikation in Deutschland folgende:

- LEU (Lineside Electronic Unit)
- Kabel LEU zu den Balisen
- Kabel für die Energieversorgung der LEU. Der Einsatz zukünftiger Low Power LEU vermeidet diese Kabel.
- Prüfung Rückwirkungsfreiheit für Anbindung LEU an das Signal durch den Stellwerkshersteller.
- Balisen

Im Vergleich dazu sind die entscheidenden Kostenelemente bei ETCS-Level 2

- RBC
- Schnittstellen zu RBC, Stellwerk, GSM-R, Einbindung in die Betriebsleitzentrale
- Fernsteuerung für Relaisstellwerke
- Ertüchtigung der GSM-R-Infrastruktur mit redundanter Anbindung der BTS an die BSC, der Pegelhochrüstung, oder anderer Maßnahmen der Kapazitätserhöhung)
- Balisen

Gerade die Kosten für die vorzeitige Erneuerung von Stellwerken sind nur aufgrund des Einsatzes von ETCS-Level 2 auf einem Streckenstück hoch unwirtschaftlich. Der Einsatz von ETCS-L1LS anstatt Level 2 kann auf diesen Streckenstücken die Stellwerksersatzinvestitionen von den ETCS-Ausrüstungsinvestitionen entkoppeln.

Wird ETCS-L1LS auf der Infrastrukturseite als Migrationsschritt zu einer kompletten Ausrüstung von Strecken mit ETCS-Level 2 verwendet, so müssen in der entsprechenden Wirtschaftlichkeitsrechnung auf der Infrastruktur folgende Elemente berücksichtigt werden, die die Kosten senken können:

- ETCS-L1LS kann parallel zu existierenden signalbasierten Stellwerken installiert werden.
- ETCS-L1LS benötigt nur eine vereinfachte Projektierung der Streckendaten in den Balisen
- ETCS-L1LS benötigt keine Wiederholbalisen oder Infill-Loops für eine flüssige Fahrweise
- Bei ETCS-L2 benötigt das RBC eine Kopplung mit dem Stellwerk zum Abgriff der Streckeninformation. Dies erfordert in den meisten Fällen eine Erneuerung der alten Stellwerkstechnik hin zu elektronischen Stellwerken. Alternativ können individuelle Koppelsysteme für relaisbasierte Stellwerke oder aber Abgriffe an Zugnummernmeldeanlagen verwendet werden.

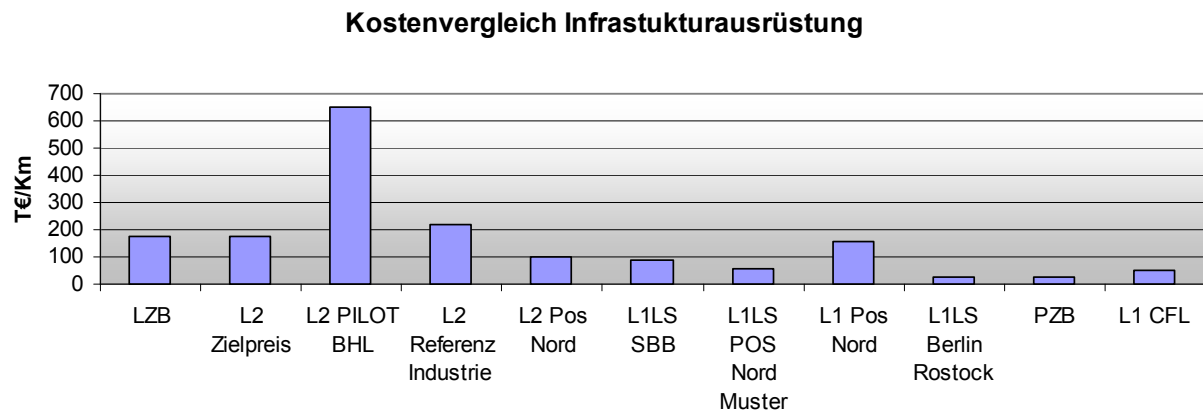


Abbildung 16 Kostenvergleich verschiedener ETCS-Level

Die Abbildung 16 zeigt einen szenarischen Kostenvergleich der einzelnen ETCS-Ausrüstungskosten pro Kilometer bei deutschen Verhältnissen. Der Kostenvergleich gibt eine Indikation für Kosten pro Kilometer wieder und hat als Kostenzielreferenz für ETCS-Level 2 die heutigen Kosten für LZB sowie als Zielreferenz für ETCS-L1LS die Kosten für PZB.

Auf dem konventionellen Güterverkehrskorridornetz sind unter Berücksichtigung der spezifischen Einsatzmöglichkeiten von ETCS-L1LS dadurch Investitionseinsparungsmöglichkeiten in der gesamten ETCS-Ausrüstung von ca. 20 % möglich. In dieser Kostenbetrachtung ist nicht das Einsparpotential der Stellwerkskosten enthalten. Der Großteil der Kosten der gesamten Migration in Deutschland wird durch die Ersatzinvestitionen der Stellwerke als Grundlage von ETCS-Level 2 verursacht. Das Verhältnis der ETCS-Infrastrukturkosten zu den Stellwerkskosten steht dabei in einem Verhältnis von 30 zu 70.

Zur Vermeidung einer vorzeitigen Stellwerkserneuerung nur aufgrund der Ausrüstung der Strecke mit ETCS-Level 2 bestehen mehrere Möglichkeiten. Ausgehend von der Notwendigkeit, dass das RBC den Zug über seine Zugnummer identifizieren muss und, dass die Streckeninformation des freier Blocks, dem RBC für die Erzeugung der Movement Authority zwingend erforderlich ist, bestehen die folgenden grundsätzlichen Möglichkeiten.

Der einfachste Fall ist ein Relaisstellwerk, das mit einer Fernsteuerung an ein elektronisches Stellwerk angeschlossen werden kann. Das elektronische Stellwerk steuert dadurch den Wirkungsbereich des Relaisstellwerkes mit und hat die notwendige Information für das angeschlossene RBC, dessen Wirkungsbereich sich um den Relaisstellwerkbereich erweitert. Diese Methode ist anwendbar, wenn das Stellwerk noch mindestens 15 Jahre Lebenserwartung aufweist und zum zweiten eine zugelassene Fernsteuerung für diese Stellwerkstyp zur Verfügung steht. Die 15 Jahre basieren auf der bilanziellen Abschreibungsdauer der Anlagen, die im Falle von Deutschland zum Großteil durch Bundeshaushaltsmittel finanziert werden. Eine Abschreibungsdauer von 20 Jahren ist hierbei unter-

stellt. Ein vorzeitiger Ersatz der Investition, zum Beispiel durch ein modernes Elektronisches Stellwerk würde eine anteilige Rückzahlung der Investitionskosten bedingen.

Die zweite Möglichkeit bei der Ausrüstung der Strecke mit ETCS-Level 2 besteht bei alten Stellwerken, die sich zwischen zwei Stellwerke befinden, die an RBCs angebunden sind. Diese Stellwerke können örtlich bedient belassen werden, wenn eine durchgehende Zugnummernmeldeanlage installiert ist, die den Zug aus dem einen Nachbarstellwerk/RBC über das örtlich bediente Stellwerk zu dem anderen Nachbarstellwerk/RBC verbindet. Die durchgehende Streckenblockinformation ist dabei zwischen dem örtlich bedienten Stellwerk so wie den Nachbarstellwerken erforderlich um die Movement Authority herstellen zu können.

Ein anderer Weg die Ersatzinvestitionen einzusparen ist, die Ausrüstung der Strecke mit ETCS-L1LS. Dies ist dann möglich, wenn die folgenden Randparameter eingehalten werden: ETCS-L1LS ist in der legalen SRS-Version enthalten, die Geschwindigkeit ist kleiner gleich 160 Km/h, die Verkehrsdichte lässt den Einsatz zu.

Da aufgrund des Einsatzes von ETCS-L1LS keine vorzeitigen Erneuerungen der Stellwerke erforderlich sind, beträgt die Stellwerksinvestitionsersparnis bei Einsatz von ETCS-L1LS bis zu 30% auf den konventionellen Güterverkehrskorridoren in Deutschland. Dabei macht die Einsparung von Stellwerksinvestitionen gegenüber dem möglichen Einsparpotential bei Einsatz von ETCS-L1LS im Vergleich zu ETCS-L2 einen wesentlich höheren Betrag aus.

Diese Diskussion ist vollkommen losgelöst von der Fahrzeugsituation. Das ETCS-Fahrzeuggerät muss immer alle ETCS-Varianten „verstehen“. Es treten bei Einsatz von ETCS-L1LS auf der Strecke keine Einsparpotentiale im Fahrzeug auf. Weiter noch ist es nur möglich, Strecken, die mit ETCS-L1LS ausgerüstet sind, nur mit Fahrzeugen zu befahren, die mit der SRS 3.0.0 ausgerüstet sind.

2.8 Kapazitätsaussagen zu den einzelnen ETCS-Stufen

Die Abbildung 17 zeigt drei Musterstrecken, an denen generisch ein Kapazitätsvergleich der einzelnen ETCS-Level untersucht wurde.

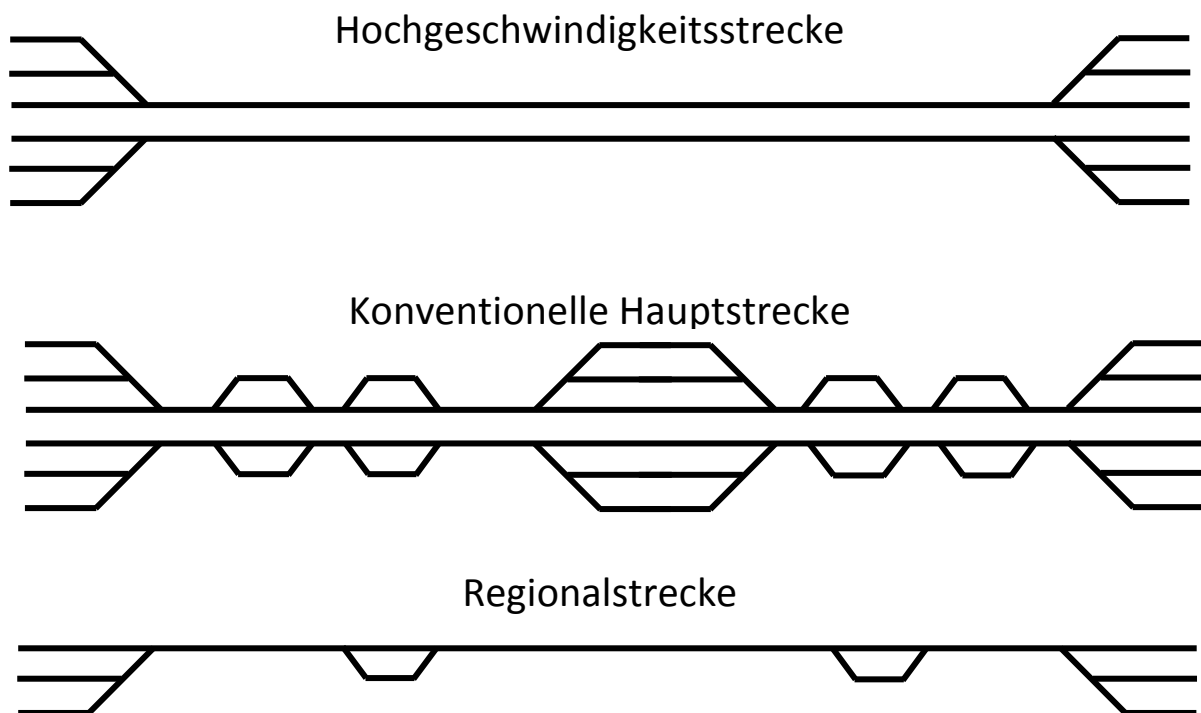


Abbildung 17 Infrastrukturmodelle für Kapazitätsaussagen [WEN07]

Dazu wurden diese Musterstrecken unter bestimmten Randbedingungen mit speziellen Verkehrsprofilen belastet [WEN06] und [WEN07]. Prinzipiell ist in bestimmten Situationen eine Kapazitätssteigerung durch die Wahl der ETCS-Level möglich. Die dazu durchgeführte Studie unterscheidet die drei verschiedenen Streckenkategorien: Hochgeschwindigkeitsstrecke, konventionelle Hauptstrecke und regionale Strecke. In Abhängigkeit von den jeweils typischen Infrastruktureigenschaften und den streckentypischen Betriebsprogrammen ergeben sich dadurch verschieden große Effekte.

Es wurden die folgenden ETCS-Level untersucht und miteinander verglichen.

- ETCS-L1LS (nur konventionelle Strecke)
- ETCS-Level 1 ohne Service-Bremse (nur konventionelle Strecke)
- ETCS-Level 1
- ETCS-Level 1 mit Infillbalise
- ETCS-Level 2
- ETCS-Level 2 optimierter Blockabstand (außer Regionalstrecken)
- ETCS-Level 3

Als 100% Basis wurde immer ETCS-Level 1 Full Supervision verwendet.

2.8.1 Kapazitätsaussage für die Hochgeschwindigkeitsstrecke

Für den Hochgeschwindigkeitsverkehr ergibt sich als Ergebnis dieser Untersuchung folgendes Bild mit einer Steigerung auf bis zu 162 % nur durch den Einsatz von ETCS-L3. Allerdings muss für Deutschland berücksichtigt werden, dass in Deutschland im Hochgeschwindigkeitsverkehr bereits ab einer Geschwindigkeit von $V_{\max} > 160 \text{ km/h}$ der ETCS-Level 2 vorgeschrieben ist.

Kapazitätssteigerung (ETCS Level 1 = 100%) Hochgeschwindigkeitsstrecke

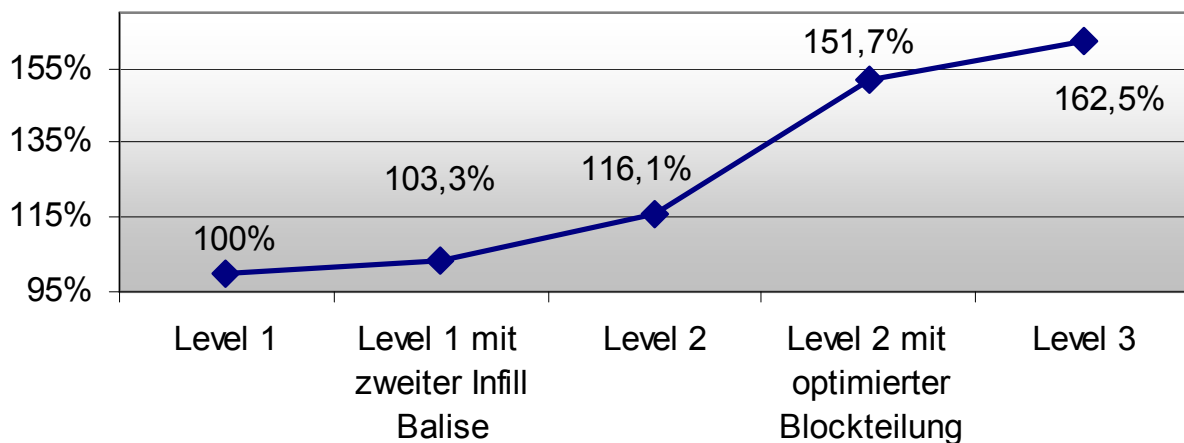


Abbildung 18 ETCS-Kapazitätsvergleich Hochgeschwindigkeitsstrecke[WEN07]

Eine signifikante Kapazitätssteigerung gegenüber ETCS-Level 2 ist dabei lediglich durch den Einsatz von ETCS-Level 3 möglich.

$$\text{Kapazitätssteigerung}_{\text{HGV}} = \frac{\text{Level 3}}{\text{Level 2}} \text{ entspricht } 140 \%$$

Formel 1 Kapazitätssteigerung HGV Level 3 zu Level 2

Die Verwendung von optimierten Blockabständen, wie auch bei dem Einsatz von CIR-ELKE angewendet, lässt die Differenz zu ETCS-Level 3 schmelzen.

$$\text{Kapazitätssteigerung}_{\text{HGV}} = \frac{\text{Level 3}}{\text{Level 2 optimierte Blockabstand}} \text{ entspricht } 107 \%$$

Formel 2 Kapazitätssteigerung HGV Level 3 zu Level 2 mit optimiertem Blockabstand

2.8.2 Kapazitätsaussage für die konventionelle Strecke

Wird dagegen die generische konventionelle Musterstrecke mit

- $V_{\max} \leq 160 \text{ km/h}$
- simulierter Länge von 100 km
- Blocklänge 3 km
- gemischter Verkehr (Fern-, Nah- und Güterverkehr)

betrachtet, so sieht die Kapazitätssausage wie folgt aus:

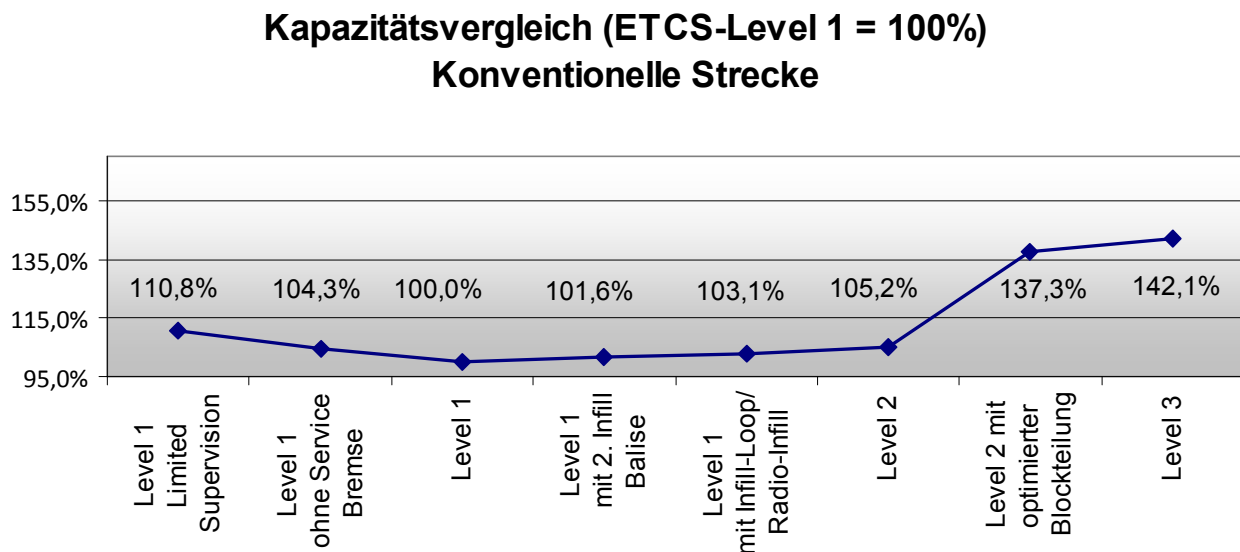


Abbildung 19 ETCS-Kapazitätsvergleich für konventionelle Strecken[WEN07]

Interessant ist, dass der Einsatz von ETCS-L1LS gegenüber ETCS-Level 1 eine Kapazitätssteigerung bringt. Dieser führt in den generischen Strecken zu einem Kapazitätsgewinn von bis zu 11%.

Kapazitätssteigerung konventionell	=	$\frac{\text{Level 1 Limited Supervision}}{\text{Level 1}}$	entspricht 111 %
---	---	---	-------------------------

Formel 3 Kapazitätssteigerung konventionell Level 1 LS zu Level 1

Allerdings ist auf der konventionellen Strecke, bedingt durch das Geschwindigkeitsprofil, den vielen Kreuzungen und Weichen, und der Führerstand geführten (CAB-Based) ETCS-Bedienung insgesamt kein so großer Kapazitätsgewinn möglich wie auf den Hochgeschwindigkeitsstrecken. Anders stellt sich die Situation auf einer Regionalstrecke dar.

2.8.3 Kapazitätsaussage für die Regionalstrecke

Die Regionalstrecke zeichnet sich durch große Blockabstände, geringen Verkehr und eingleisige Streckenabschnitte aus. Durch diese Konstellation ist der Unterschied zwischen ETCS-Level 1 und ETCS-Level 2 quasi null. Lediglich der Einsatz von ETCS-Level 3 mit „Moving Block“ bringt massive Kapazitätsverbesserung gerade im Steuern von zulaufendem Verkehr auf den eingleisigen Strecken.

Kapazitätsvergleich (ETCS-Level 1 = 100%) Regionalstrecke

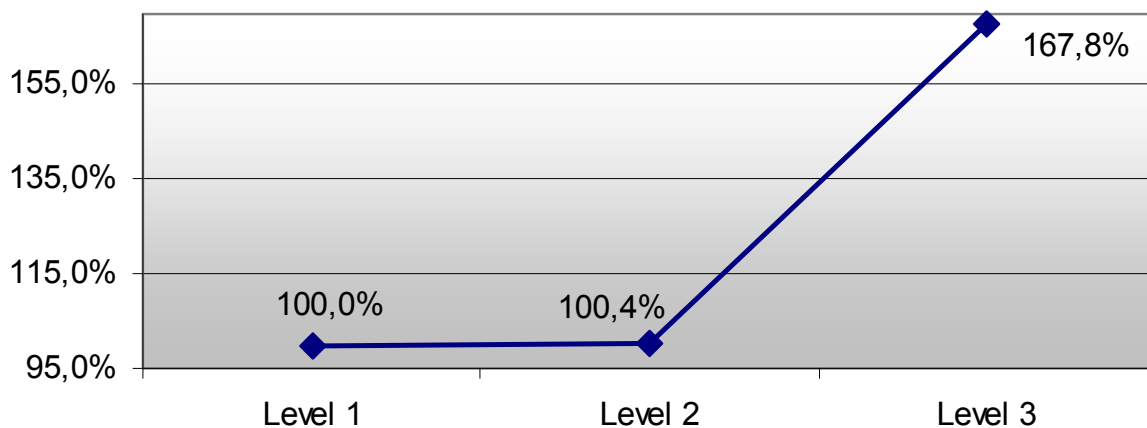


Abbildung 20 Kapazitätsaussage Regionalstrecke [WEN07]

Der Level 3 hat zudem auch den Vorteil, dass die Infrastruktur durch die fehlenden Gleisfreimeldeeinrichtungen noch einfacher und damit kostengünstiger ist.

$\text{Kapazitätssteigerung}_{\text{Regional}} = \frac{\text{Level 3}}{\text{Level 2}} \text{ entspricht } 167 \%$	
--	--

Formel 4 Kapazitätssteigerung Regionalstrecken Level 3 zu Level 2

2.8.4 Betriebliche Vorteile der unterschiedlichen ETCS-Funktionsstufen aus Kapazitätssicht

Betrachtet man die Einführung von neuen Systemen aus betrieblicher Sicht, so steht an erster Stelle nach der Sicherheit immer das Leistungsvermögen einer Strecke. ETCS bieten in dieser Hinsicht Gestaltungsmöglichkeiten, um, angepasst an die entsprechenden Anforderungen der Streckenleistungsfähigkeit, auch in Hinblick auf die Infrastrukturausbauten Effekte zu erzielen. Wird der Kapazitätsverbrauch über Sperrzeitentreppen berechnet, so ergibt dies Min-

destzugfolgezeiten [WEN07]. Die Auswertung der Sperrzeitenberechnung nach zwei verschiedenen Methoden [WEI08] ergeben die in den nachfolgenden Unterkapiteln beschriebenen Effekte aus betrieblich simulativer Sicht im Vergleich zu den deutschen Zugbeeinflussungssystemen PZB und LZB. Beide Untersuchungen verwenden dabei dieselben Methodiken der Leistungsfähigkeitsberechnung.

2.8.4.1 Betrieblicher Vergleich von ETCS-Level 1 Limited Supervision und PZB

In Deutschland würde ETCS-L1LS ein ähnliches Leistungsverhalten wie PZB aufweisen. Solange nur die Notfallbremskurve (Emergency Brake Curve) im Hintergrund überwacht wird, hängt die Streckenkapazität in erster Linie von den Streckenparametern und der Fahrweise des Triebfahrzeugführers ab. Dieser fährt rein nach den Außensignalen.

2.8.4.2 Betrieblicher Vergleich von ETCS-Level 1 und PZB

Der Unterschied von ETCS-Level 1 LS zu ETCS-Level 1 liegt in erster Linie darin, dass der Triebfahrzeugführer seine Überwachung in der Führerraumsignalisierung erhält. Diese Bremskurven beinhalten einen Aufschlag gegenüber der Notbremskurve. Dies führt zu einem früheren Einsatz des Bremsesetzpunktes mit einer deutlich geringeren Bremsbeschleunigung. Diesem Effekt wirkt entgegen, dass aufgrund der Führerraumsignalisierung die Reaktionszeit des Triebfahrzeugführers vernachlässigt werden kann.

2.8.4.3 Betrieblicher Vergleich von ETCS-Level 1 und PZB

Effekte einer Kapazitätssteigerung (Verkürzung der Sperrzeittreppen) bei ETCS-Level 2 kommen in erster Linie aus der kontinuierlichen und damit zeitnahen Übertragung des Fahrbefehls. Die Vorausschau über einen Block hinweg und das direkte Aufwerten eines Signalbegriffes führt zu einem flüssigeren Betrieb. Hinzu kommt die Möglichkeit mit dichteren Blockteilungen, ähnlich LZB-Blöcken bei Bahnhofsein- und -ausfahrten, eine schnellere Räumung der Ein- und Ausfahrgruppen durchzuführen. Dadurch verkürzt sich wiederum die Sperrzeittreppe und die Mindestzugfolgezeit sinkt.

Das Ergebnis dieser Untersuchung kann wie folgt zusammengefasst werden [WEI08]:

- ETCS-L1LS hat die gleiche oder eine geringfügig höhere Leistungsfähigkeit als PZB.
- ETCS-L1 hat nur von Fall zu Fall eine gering höhere Leistungsfähigkeit als PZB.

- ETCS-L2 hat dann eine 10 bis 15% höhere Leistungsfähigkeit gegenüber LZB, wenn die Strecke zeitgleich mit dem Hochleistungsblock ausgerüstet wird sowie optimierte Blockabstände angewendet werden.

Beachtet man die verschiedenen Aufsetzpunkte der Untersuchungen nach [WEN07] und [WEI08], so sind beide Untersuchungen ineinander überführbar und resultieren in den gleichen Kernaussagen. Eine weniger spezifische Untersuchung [INV08] kommt ebenfalls zu einer allgemeingültigen Aussage einer Kapazitätssteigerung durch ETCS, bedingt durch die frühe Aufwertung des Signalfbegriffes im ETCS-Level 2 Modus.

2.8.5 Kapazitätsbetrachtung anhand der Bremskurvencharakteristik

Interessant ist auch die Kapazitätsbetrachtung anhand der Bremskurvencharakteristik [CHA08] besonders für den Güterverkehr. In Abhängigkeit der Blockabstände und der erlaubten Höchstgeschwindigkeit der Strecke wurde eine Kapazitätsaussage getroffen, die eine erhebliche Varianz durch das Bremsvermögen der Züge aufzeigt. Die Betrachtung resultiert in der Aussage, dass in kritischen Phasen durch die Reduzierung der Geschwindigkeit eine höhere Streckenkapazität erreicht werden kann. Grundsätzlich ist eine Korrelation zwischen kurzer Blocklänge und höherer Kapazität bestätigt worden. Eine Erhöhung des Bremsvermögens eines Zuges um 15 % bringt beispielsweise bei dem Fahren mit absolutem Bremsabstand eine Streckenkapazitätssteigerung von 7%.

Die Schwierigkeit besteht in der Zusammenführung der theoretisch berechneten Ergebnisse und dem Transfer in realitätsnahe Abschätzung und Bewertung der Streckenkapazität. Die Bremskurvendiskussion für das Bremsmodell in der SRS 3.0.0 zeigen die Schwierigkeiten in den einzelnen Sichtweisen. Die offene Lösung in den Bremsparametern Einflüsse aus der Infrastruktur und dem Fahrzeug einzubringen erfordert grenzüberschreitend sehr viel Abstimmungsbedarf um die entsprechenden Kapazitäten der Strecken zu bewahren oder zu verbessern.

2.8.6 Kapazitätsbetrachtung anhand von GSM-R-Engpässen

Das Fahren unter ETCS-Level 2 kann unter bestimmten Bedingungen zu Kapazitätsengpässen im GSM-R-System führen. Kapazitive Schwierigkeiten lassen sich unter folgenden Bedingungen erwarten:

- ausgedehnte Rangieranlagen (Rangierer mit mobilen GSM-R-Funkgeräten),
- große Bahnhöfe unter ETCS-Level 2 mit gleichzeitig hoher Anzahl von ETCS-geführten Lokomotiven „alive“ im Bahnhof

- Stausituationen im Güterverkehr.
- Viele zusätzliche Applikation, die über GSM-R-Daten zwischen Infrastruktur und Fahrzeug austauschen

In all diesen Situationen kann es vorkommen, dass alle zur Verfügung stehenden Funkkanäle prioritär durch Lokomotiven im ETCS-Level 2-Modus belegt sind.

Ein weiterer in diese Funkzelle hinein fahrender Triebzug unter ETCS-Level 2 würde aufgrund der mangelnden Kanalzuteilung mit einer Zwangsbremmung zum Stehen kommen [FRI07], [WE207]. Dieser hypothetische Fall ist heute aufgrund der geringen Zugdichte von unter ETCS-Level 2 geführten Lokomotiven nicht existent. Allerdings sieht man die Notwendigkeit, etwas gegen diesen in Zukunft zu erwartender Engpass zu unternehmen. Es werden zurzeit diverse Lösungen diskutiert.

- GPRS als die realistischste Lösung: GPRS als paketbasiertes Übertragungsverfahren kann pro Funkkanal bis zu 8 Verbindungen zwischen RBC und Lokomotive aufbauen. Eine Kapazitätserweiterung um den Faktor acht wäre die Folge. Zur Realisierung von GPRS Betrieb müssten alle im GSM-R-Schaubild gezeigten RBC-Stationen sowie die Fahrzeuge Geräte besitzen, die funktionell neben dem Wahlverfahren (GSM-R) auch das Paketverfahren mit IP-Adressierung (GPRS) aufweisen. Im Grundsatz ist später ein Mischbetrieb zwischen GSM-R- und GPRS-Fahrzeugen möglich, wobei durch ein GSM-R-Fahrzeug immer ein kompletter Kanal des GPRS benutzt wird. Heute mit GSM-R ausgestattete Fahrzeuge müssten mit neuer Hard und Software ausgerüstet werden. Die Funktion GPRS wird es noch nicht in der SRS 3.0.0 geben.
- EDGE-Verfahren
- Mikrozellen-Bildung mit neuer Planung der Infrastruktur
- Ausrüstung von ETCS-Level 1/L1LS statt ETCS-Level 2 in betroffenen Bereichen mit den damit verbundenen Kapazitätsbeschränkungen
- Zusätzliche Kanäle im GSM-R Bereich
- Andere heute noch nicht sichtbare oder diskutierte Lösungen.

Das Thema der zukünftigen Kommunikationsnotwendigkeit muss zukünftig im Kontext mit der Fahrzeugmigration, des IT-Infrastrukturausbaus sowie der technologischen Entwicklung betrachtet werden.

2.8.7 Integrierter Interoperabilitätstest Strecke und Fahrzeug

War es früher möglich, Fahrzeuge und Strecken separat zu entwickeln, zu testen und zuzulassen, so ist mit dem ETCS ein neuer Aspekt hinzugekommen: Der gemeinsame Integrationstest [MI207] in dem das gesamte System Strecke-Fahrzeug, wie in Abbildung 21 dargestellt, zu testen und zuzulassen ist.

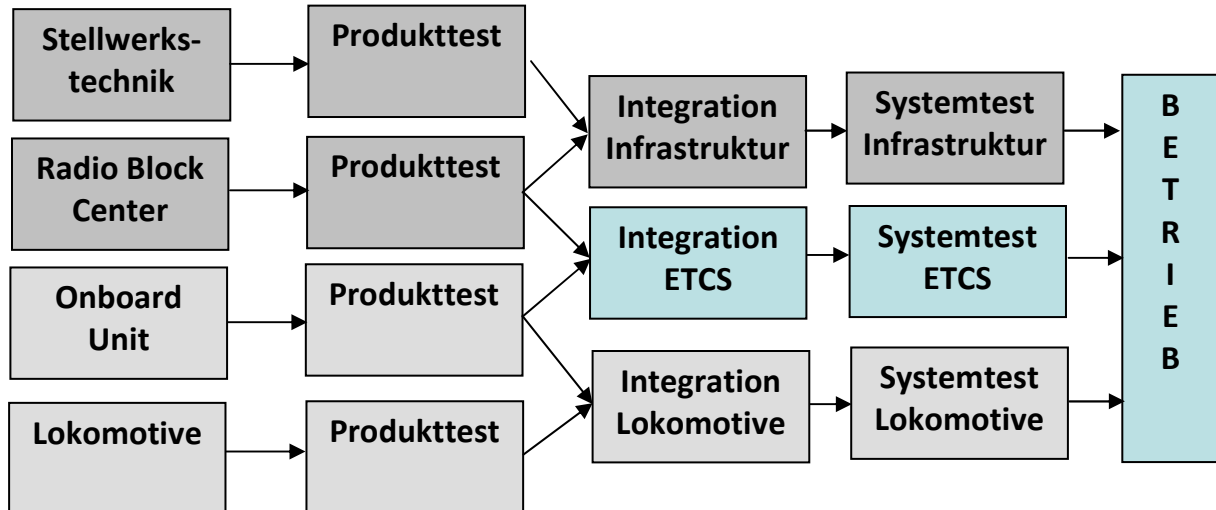


Abbildung 21 Gemeinsamer Integrationstest für Fahrzeug und Strecke

Dies erfordert für die Streckenzulassung ein zugelassenes Fahrzeug und für die Fahrzeugzulassung eine zugelassene Strecke. Aufgrund der fehlenden Erfahrungen und den fehlenden übergreifenden Testszenarien und Genehmigungsprozeduren wird heute der Integrationstest in vielen Fällen als letzter Schritt gemeinsam zwischen mit Strecke und Fahrzeug durchgeführt. Dies führt zu erheblichen Strecken und Fahrzeugbelegungszeiten für die Zulassung. In diesem Fall erhält dann Das Fahrzeug eine reine dedizierte Streckenzulassung.

Als ein vordringliches Problem der gemeinsamen Zulassung stellt sich dabei das Thema der Systemverantwortung ein. Nur eine gemeinsame Betrachtungsweise und das Verständnis der gemeinsamen Zulassung führen zum Erfolg. Der Aspekt der unterschiedlichen Systemverantwortung verschwindet bei gleichzeitiger Beauftragung und Durchführung von Fahrzeug- und Streckenausrüstung durch einen Lieferanten.

Der integrierte phasenweise Zulassungsansatz stellt die Realität vor große Herausforderungen. Konträre Ziele bei der Projekt- und Migrationsabwicklung erschweren das integrierte Zulassen zusätzlich:

- geteilte Verantwortungen von Hersteller, Halter/Betreiber, Infrastruktur und Fahrzeug,
- unterschiedliche Zeitschienen der Ausrüstung von Fahrzeugen und Strecken,
- divergierende Wirtschaftlichkeitsansinnen auf Infrastruktur und Fahrzeugseite und
- unterschiedliche SRS-Varianten und nationale Anforderungen mit daraus resultierenden Interoperabilitätsproblemen

Die Europäische Kommission hat die Koordinierungsgruppe NB-Rail eingesetzt, die sich sowohl mit den Verfahrensfragen als auch mit den technischen Fragen der interoperablen Zulassung befasst [POT08]. Im europäischen Rechtsrahmen und den dazugehörigen Leitlinien zur Umsetzung der TSI entwickelt diese Gruppe einen modularen Ansatz zur Zertifizierung der Interoperabilitätskomponenten, IC. Das Ziel ist durch eine phasenweise Zertifizierung bei den benannten Stellen, den NOBOS, eine Vereinfachung des individuellen Zulassungsprozesses des Gesamtsystems in einem vierstufigen Testprozess, wie in Abbildung 22 zu sehen, zu erreichen.

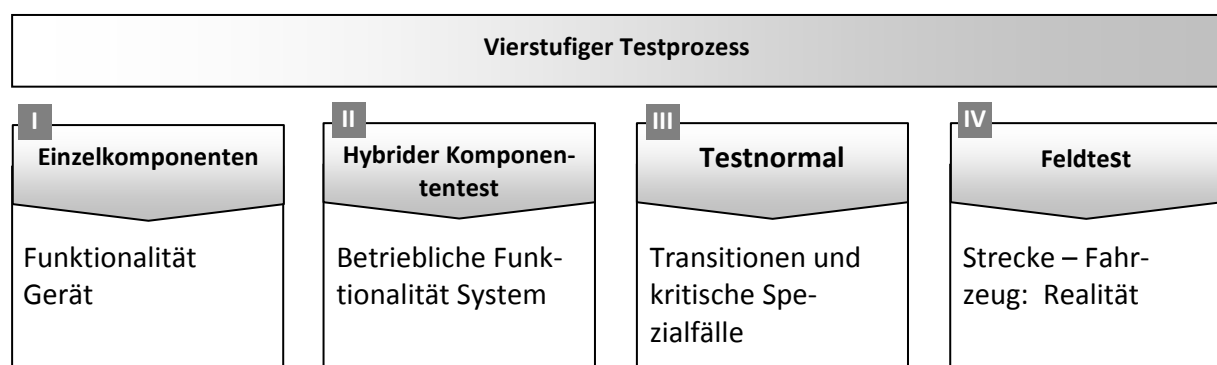


Abbildung 22 Vierstufiger Testprozess

Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist das Hauptziel bei allen Test- und Zulassungsverfahren von Infrastruktur- wie von Fahrzeugseite die Minimierung der Testzeiten auf der realen Strecke. Wurden in den ersten Pilotanwendungen parallel die Infrastruktur und Fahrzeugsysteme aufgebaut und auf der realen Strecke das erste Mal in Betrieb gesetzt und fertig entwickelt, so ist dies für den Serien-Rollout aufgrund der langen Belegung von Fahrzeug und Trasse die unwirtschaftlichste Lösung. Strecken müssen gesperrt werden und erwirtschaften keinen Trassenerlös. Fahrzeuge, die nicht der Produktion zur Verfügung stehen können, keine Güter- und Personenwagen ziehen. Ein erheblicher Produktionsausfall ist vorhanden.

Zerlegt man den in Abbildung 22 beschriebenen Test in einzelne Module, so stellt sich heraus, dass durchaus ohne eine komplette Testumgebung eine Strecke mit RBC und/oder LEU zusammen mit einem Fahrzeug getestet werden muss. Deshalb sind für den kompletten Interoperabilitätstest vier Stufen zu unterscheiden:

- Test der einzelnen ETCS-Komponente für sich getrennt nach Fahrzeug-Einzelkomponenten und Infrastruktur-Einzelementen
- Kombiniertes Test der ETCS-Infrastruktur- und Fahrzeugkomponenten ohne Fahrzeug und realer Infrastruktur im Labor.
- Fahrzeugtest der Transitionen und schwierigen Betriebsumgebungen mit einem realen Fahrzeug auf einer Teststrecke bzw. Testen der Infrastrukturelemente einer realen Strecke mit einem Testfahrzeug.
- Endgültiger Interoperabilitätstest mit realem Fahrzeug auf realer Strecke

Gerade der dritte Testzweig mit Testnormalen ist heute noch nicht verbreitet.

2.8.7.1 Einzelkomponententest

Der Einzelkomponententest inklusive Zulassung der Einzelkomponenten wird bei dem Hersteller durchgeführt. Aufgrund einer angestrebten Neutralität der Zulassungszertifikate werden dabei häufig unabhängige Prüf- und Zulassungsinstitutionen beauftragt. Betrachtet wird exemplarisch die Systemarchitektur von ETCS-Level 2 in Abbildung 23. In der TSI sind bereits viele Schnittstellen funktional festgelegt. Hierbei wird der Grad der international abgestimmten Schnittstelle unterschieden:

- Form Fit Functional Interface Specification, FFFIS: Eine komplett spezifizierte Schnittstelle bis hin zu der Hardware-Spezifikation
- Functional Interface Specification, FIS: Spezifikation beinhaltet nur die funktionale Schnittstelle ohne Festlegung der Hardwareverbindung
- Nicht abgestimmte Schnittstelle: keine Modularität oder Austauschbarkeit gewährleistet.

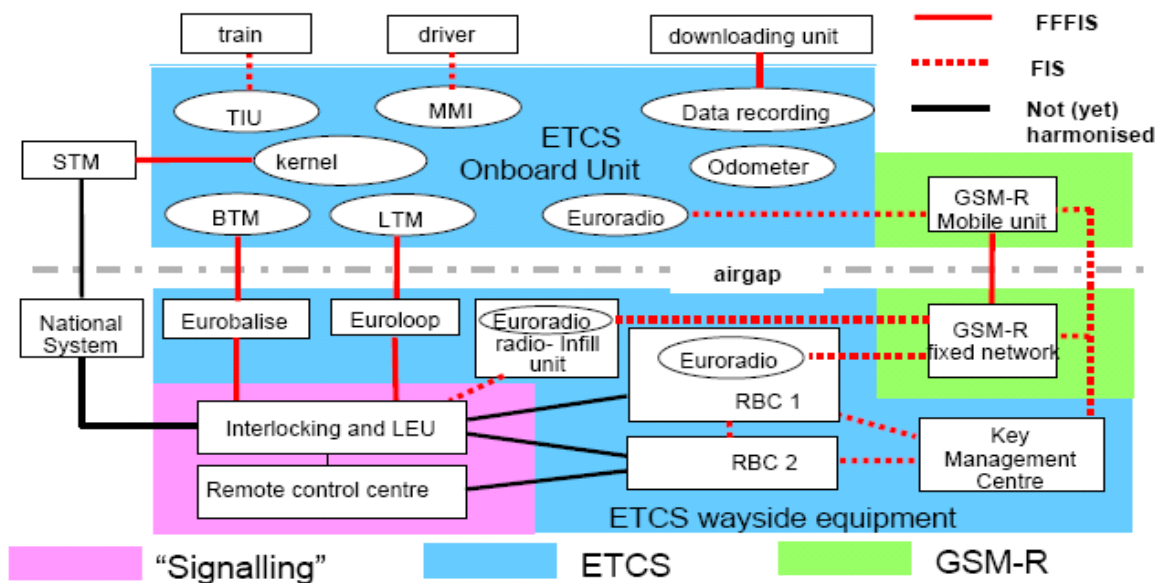


Abbildung 23 ETCS-Level 2 Systemelemente [MAY08]

Dieser Ansatz geht den einzelnen Bahnen allerdings nicht weit genug. Zurzeit ist es fast nicht möglich die einzelnen Elemente von verschiedenen Herstellern zu kombinieren. Der Hersteller eines RBC oder einer Onboard Unit liefert heute monolithisch seine Zusammenstellung der Komponenten. Aus Ersatzhaltungsgründen oder Harmonisierung innerhalb einer Flotte kann es dennoch Sinn machen individuelle Vorgaben zu treffen. Ein Wirtschaftlichkeitsansatz, der neben der Ersatzteilhaltung auch die Schulung der Wartung- und Instandhaltungspersonale betrachtet, ist das ausschlaggebende Element für die Entscheidung. Dazu muss der Modularisierungsgedanke auf einzelnen zugelassenen Komponenten aufsetzen und nicht nur funktional kompatible Geräte erlauben. In der TSI im Subset 094 ist dazu ein Vorschlag für die Class 1-Testarchitektur der Onboard-Geräte beschrieben.

Dieser Einzelkomponententest bezieht sich auf die folgenden Elemente des Fahrzeugs

- Odometrie
- Juridical recorder
- European Vital Computer, EVC
- Data Maschine Interface, DMI
- Train Interface Unit, TIU
- Euroradio

Die Standardisierung dieser einzelnen Elemente steckt allerdings noch in den Kinderschuhen. Zurzeit läuft auf der EU-Seite ein Abstimmungsprozess, der diese Elemente auf der Fahrzeugseite zu den Interchangeable Components, ICs zuordnen wird. Diese Elemente werden als einzelne Module herstellerneutral zugelassen und sind untereinander in einem Gesamtsystem kombinierbar.

Eine standardisierte Typzulassung des Produktes, die Europaweit gilt, spart innerhalb einzelner Projekte diesen Aufwand in Zeit und Kosten. Diese Crossreferenz als entscheidendes Merkmal der Migrationsstrategie wird häufig durch neutrale Prüf- und Testlabore durchgeführt.

Auf der Infrastrukturseite sind die folgenden ETCS-Elemente gemäß Abbildung 23 in die Betrachtung der Modularität einzubeziehen.

- RBC „Radio Block Center“
- RBC Schnittstelle zu den Stellwerken/Zugnummer Meldeanlagen.
- Eurobalise
- Euroloop
- Euroradio
- LEU „Lineside Electronic Unit“

Ansätze in einzelnen europäischen Projekten wie INESS sind auf dem Weg zu diesem modularen Ansatz. Auf der Stellwerksseite ist der Begriff des ETCS-Compliant Interlocking geprägt worden, das eine Verschmelzung des klassischen Stellwerks mit den Funktionalitäten des RBC vorsieht. Dadurch wird eine erhebliche Kosteneinsparung aufgrund von reduzierten Hardwareschnittstellen, kombinierten und damit einfacheren Datenbanken und Strukturen und gemeinsamen Engineering- und Zulassungsprozessen erwartet.

Für die Migration ist es aus wirtschaftlicher Sicht von Vorteil, wenn die Einzelkomponente für sich bereits eine Interoperabilitätskomponente IC darstellt. Ein Zertifizierung in einem Nachbarland ist dann über ein einfaches Anerkennungszertifikat ohne weitere Untersuchungen möglich. Entspricht die Komponente nicht der TSI, so sind nationale Zulassungen in jedem zu befahrenden Land des Fahrzeuges mit dieser Onboard-Komponente notwendig. Die Umrüstdauer, zu der der Zulassungszeitraum gehört, ist für die Migration ein entscheidender Faktor.

2.8.7.2 Kombinierte Test der Einzelkomponenten Fahrzeug-Strecke

Das Zusammenspiel der Fahrzeug- mit den Streckeneinrichtungen kann schon in einem sehr frühen Stadium getestet werden. Ausgehend von dem bestanden Test der Grundfunktionalität der Einzelkomponenten, ist das betriebliche Zusammenspielen von Fahrzeug- und Streckensystemen vorab in einem hybriden Labortest überprüfbar. In dem hybriden Labortest werden die Fahrzeuge in erster Linie der European Vital Computer EVC mit den Streckenkomponenten, hier in erster Linie mit dem RBC, mit einem Datenlink verbunden und zusammen getestet. Ein großer Vorteil dieser hybriden Testumgebung liegt in der Varianz der Testmöglichkeiten. So kann das Fahrzeugtestlabor an einem komplett unterschiedlichen Standort den Dienst verrichten wie das Streckentestlabor. Auch können, bei Einigung der Datenschnittstellen, verschiedene Hersteller gemeinsam die Tests als Vorstufe der echten Interoperabilitätstests durchführen.

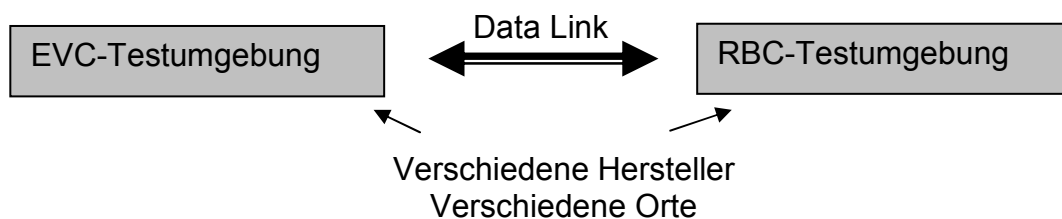


Abbildung 24 Hybride Testumgebung

Diese Art des Testens wurde bereits erfolgreich bei verschiedenen Projekten und Herstellern durchgeführt. Als Beispiel sei genannt:

- Fa. Alstom mit einem Projekt in Belgien für Fahrzeug- und Streckeneinrichtung
- Fa. Thales mit einem Projekt, bei dem unterschiedliche Hersteller von Strecken- und Fahrzeugsystemen beteiligt waren
- Als Vorstufe zu dem hybriden Labortest wurde in einem der ersten ETCS-Projekte bei EMSET Madrid-Sevilla ein Labortest mit anschließendem Streckentest durchgeführt.

Diese hybriden Testumgebungen ergänzen die Testlabore wie sie zurzeit bei unabhängigen Stellen wie dem DLR und bei der CEDEX oder aber bei den einzelnen Herstellern vorgehalten werden [HÖR08] um die Interoperabilität herstellerübergreifend sicherzustellen.

Eine andere Form des hybriden Testlabors bietet das Eisenbahnlabor RailSiTe® des DLR. Es bietet die Möglichkeit, Gesamtsysteme, Teilsysteme und Einzelkomponenten der Eisenbahnleit- und Eisenbahnsicherungstechnik zu analysieren, zu testen und zu validieren.

Aufgrund des modularen Aufbaus ist die Flexibilität und Erweiterungsfähigkeit des Labors sichergestellt, so dass neben reinen Softwaresimulationen auch Hardware-in-the-loop- und Cross-Reference-Tests durchgeführt werden können [DLR08].

Nicht betrachtet ist in diesen Erläuterungen der Test neuer Funktionalitäten in der SRS-Evolution. Diese Tests, die in vielen Fällen Fahrzeug wie Strecke betreffen, müssen zur Vermeidung von iterativen Tests an realen Strecken bzw. realen Fahrzeugen vorab in den Entwicklungs- und Test-Laboren durchgeführt werden. Auch wird zwischen dem Funktionstest der Einzelkomponente und dem hybriden Zusammenspiel zwischen Strecken- und Fahrzeugseite unterschieden. Der hybride Test wird in erster Linie für die Überprüfung der betrieblichen Funktionen eingesetzt. Die Testprozeduren für diesen Test der SRS-Evolution werden zurzeit zwischen den ETCS-User-Gruppen, der DLR zusammen mit der CER und der ERA diskutiert, gemeinsam entwickelt und für die Baseline 3.0.0 abgestimmt. Unabhängig von diesen Tests für die Entwicklung der SRS-Versionen ist das hier beschriebene vierstufige Testkonzept für die Ausrüstung von realen Fahrzeugen und Strecken zu sehen.

Für die Migrationsstrategie eines EVU ist der vorherige Test von Onboard Geräten mit der Vielzahl der Strecken, auf dem dieses Fahrzeug unterwegs ist, eine wichtige Voraussetzung für eine zügige Betriebsaufnahme/Zulassung ohne umfangreiche Streckentests. Bereits in Labortest erprobte Kombinationen können einen Kaufentscheid zugunsten des Herstellers führen, die diese Tests der Kombinationen mit Ihren ETCS-Onboard Geräten bereits durchgeführt haben. Ein Entscheidender Punkt für eine Migration ist die Umrüstungsdauer, die die Testzeit mitinkludiert. Die folgenden Untersuchungen haben gerade das Element der Fahrzeugausrüstungsdauer als eines der Wichtigsten Elemente identifiziert. Die Umrüstungsdauer zu verkürzen hat einen signifikanten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

2.8.7.3 Testnormal Strecke

Eine Idee, die mehr und mehr Gestalt annimmt, ist die Schaffung von sogenannten Testnormalen. An diesen Referenzen wird das komplementäre Element des Systems Strecke-Fahrzeug geprüft, ob es die allgemeinen Interoperabilitätskriterien erfüllt.

Ein großer Vorteil des Vorhaltens von Fahrzeugtestnormalen ist die Einsparung von Fahrzeugen, die für Streckentests und Abnahmen ansonsten aus der Produktion genommen werden müssten. Gerade in der Migrationszeit, in der verschiedenste SRS-Versionen auf internationalen Strecken anzutreffen sind, ist dort eine Testentwicklung an dem Testnormal möglich.

Da ein Teststreckennormal vorzugsweise als Ring ausgelegt ist, bieten sich die Tests an, die sich in der Realität nur mit großem Aufwand durchführen lassen. Als Testnormal für die Strecke könnte ein Testring verwendet werden wie zum Beispiel der in Wildenrath oder der bei CEDEX. Die Vorstufe des realen Tests kann auch eine Laborsimulation in der die betrieblichen Szenarien durchgefahren werden. Aufgebaut mit verschiedener Hardware und der Möglichkeit der Einbringung national spezifischer Software, die die jeweiligen nationalen Betriebsregeln widerspiegeln, können dann auf dieser Strecke verschiedene Dinge getestet werden:

- Test des ETCS-Implementation im Fahrzeug für sich. Dadurch würden die Tests an der realen Strecke massiv zurückgehen und der Verkehr würde nicht beeinträchtigt werden.
- Der Grenzübertritt unter ETCS (ohne den GSM-R-Übertritt) ohne den echten Grenzverkehr zu beeinträchtigen.
- Transitionen von ETCS zu Class B-Systemen für den internationalen Verkehr.
- Zusammenspiel von ETCS und Class B-Fahrzeugausrüstung.
- Zusammenspiel von ETCS und STM-Onboard-Ausrüstung.
- Kompatibilitätstest verschiedener Streckenausrüstung zur Fahrzeugausrüstung.
- Test neuer streckenseitiger CR-Funktionen mit vorhandenen SRS-Fahrzeugversionen.
- Test neuartiger CR-Funktionen auf Fahrzeugseite auf deren Kompatibilität zu alten SRS-Versionen.
- „Lineside Electronic Unit“, LEU zum Test der ETCS-Level 1-Funktionalität mit und ohne Signale
- Test von Rückfallszenarien
- Test von neuralgischen Punkten auf Strecken oder Korridoren

Die Minimierung von Sperrpausen im Test auf der realen Strecke ist eines der wichtigsten Vorteile bei der Verwendung des Teststreckennormals. Die Verbindung mit einem hybriden Labortest, in dem die RBC-Funktionalität einer realen

Strecke in das RBC im Testring eingekoppelt wird, erweitert den Einsatzbereich und verschiebt die Testgrenze damit sehr nah an die Realität.

Die Verkürzung der notwendigen Test- und Zulassungszeit verbessert die Wirtschaftlichkeit des ETCS-Einbaus in eine Fahrzeugflotte.

2.8.7.4 Testnormal Fahrzeug

Ein wichtiges Element für den integrierten interoperablen Test gibt es heute noch nicht: Ein Fahrzeug als „Testnormal“!

Zurzeit testet jedes Fahrzeug, das einen Verkehr mit ETCS aufnimmt, die Strecke für sich auf Interoperabilität. Dazu zählen die folgenden Punkte

- die Kompatibilität mit den SRS-Funktionen
- das Zusammenspielen mit der GSM-R-Umschaltung
- die Balisen-Kompatibilität mit den Balisenlesern
- die Euroloop-Kompatibilität mit den Euroloop-Lesegerät
- die Umschaltung zwischen ETCS und den Class B-Systemen
- die eigentliche nationale Streckenabnahme
- bei Bedarf selbst die Geschwindigkeitshochtastfahrten als Testnormal für diese Strecke.

Heute werden in vielen Fällen diese Aufgaben mit Fahrzeugen aus dem produktiven Betrieb durchgeführt. Durch den hohen Zeitaufwand hat dies starke kommerzielle Auswirkungen bei dem Fahrzeughalter. Fahrzeuge als Testnormale, die zusätzlich eine Auslandszulassung sowie an Bord ein interoperables ETCS besitzen, können sehr viel Kosten im produktiven Betrieb einsparen. Ein elektrotraktionsenergieunabhängiger Antrieb würde zusätzlich den europäischen Einsatz vereinfachen. Ein grenzüberschreitend einsetzbares Fahrzeugtestnormal muss aufgrund der Zulassungsprobleme sehr intensiv mit den Anforderungen der nationalen und internationalen Zulassungsbehörden abgeglichen werden.

Löst man sich zum Testen der Infrastruktur von einem voll integrierten ETCS-Testfahrzeug, so können auch spezielle Testfahrzeuge wichtige Einzelprüfungen und Tests übernehmen. Das von der DLR entwickelte RAILDRIVE-Testfahrzeug fällt unter die Kategorie von Spezialtestfahrzeugen. Neben Odometrie und Ortungs-Messungen sind auch Testmöglichkeiten für die Balisen-Auswertungen vorgesehen. Dadurch, dass es sich um ein Zweiwegefahrzeug handelt, ist auch der Weg zum Testort nicht auf Trassenslots angewiesen. Ein weiterer Vorteil

liegt in der kurzfristigen Einsetzbarkeit, da das Fahrzeug bei jedem Bahnübergang die Schienen verlassen kann. Innerhalb kurzer Betriebslücken und -pausen können somit Tests ohne umständliche An- und Abfahrten zu den Abstellbahnhöfen durchgeführt werden [DLR08].

Verwendet man das auf dem Testnormal Fahrzeug eingesetzte Fahrzeuggerät in anderen Baugruppen, dann ist ein Großteil der Interoperabilität bereits sichergestellt und verkürzt bei dem EVU die Zulassungs- und Testszeit bei der ETCS-Ausrüstung.

2.8.7.5 Testumgebung reale Strecke mit realem Fahrzeug

Die aufwendigste Testumgebung ist die reale Strecke und das reale Fahrzeug. Muss ein Fahrzeug auf einer realen Strecke getestet werden, so kann dies nur in verkehrsfreien Zeiten erfolgen, da es durchaus zu einem Fahrzeugstillstand aufgrund von Inkompatibilitäten zwischen Fahrzeug und Strecke führen kann. Ist die Strecke viel befahren, so ist eine Streckensperrung unumgänglich. Dies führt zu Umleitungen des regulären Verkehrs und den damit verbundenen Fahrzeitverlängerungen, Verspätungen oder im schlimmsten Fall zu Verkehrsausfall. Im umgekehrten Fall, wenn eine Strecke mit einem realen Fahrzeug getestet werden kann, steht das Fahrzeug für den Testzeitraum dem produktiven Verkehr nicht zur Verfügung. Dies führt zu Umsatzausfällen bis hin zu politischen Problemen, wenn wichtiger Verkehr aufgrund der nicht zur Verfügung stehenden Fahrzeuge eingestellt oder nur reduziert angeboten werden kann.

Eine Validierung und Abnahme von realem Fahrzeug auf realer Strecke ist heute noch unumgänglich. Aufgrund der oben genannten Punkte muss aber aus wirtschaftlicher Sicht dieser Zeitraum so kurz wie möglich gehalten werden. Alle vorlaufenden Tests müssen daraufhin optimiert werden, den wirtschaftlichen Verlust durch den Test mit einem realen Pendant so gering wie möglich zu gestalten.

Für die Migration ist der reale Test der teuerste Aspekt der gesamten Zulassung. Dieser Block muss aus Wirtschaftlichkeitsgründen so kurz wie möglich gehalten werden.

2.9 Rückfallebenenbetrachtung

Während der Migration der Infrastruktur hin zu einem komplett mit ETCS ausgerüstetem Netz kommt das System Fahrzeug-Strecke immer wieder in Situationen, in denen im Fehlerfall nicht sofort eine komplette infrastrukturelle Rückfallebene zur Verfügung steht. Erst im Laufe der Migration werden auch alle Umleitungsstrecken mit ETCS ausgestattet sein. In der Zwischenzeit müssen andere Möglichkeiten gefunden werden den Betrieb aufrecht zu erhalten. Da das Thema Rückfallebenen sehr kontrovers diskutiert wird [And07], werden in

dieser Arbeit aufgrund sehr dedizierter Fehleranalysen verschiedene Alternativen, Grenzen und Möglichkeiten aufgezeigt, damit der Verkehr im Fehlerfall nicht zum Erliegen kommt. Dabei erstrecken sich die Möglichkeiten neben technischen Rückfallebenen auch auf die betrieblichen Möglichkeiten. Es handelt sich bei allen Maßnahmen um zeitlich begrenzte Möglichkeiten bis die ETCS-Migration abgeschlossen ist.

Das Rückfallebenenkonzept sowie die Betriebsphilosophie sind dabei bei allen Bahnen unterschiedlich.

Es reicht von:

- -Im Fehlerfall steht der Zug-

bis hin zu:

- -selbst zwei Fehler im System haben keinen Einfluss auf den Betrieb-.

Gerade die komplette Palette der technischen Möglichkeiten mit zusätzlichen Sicherheitssystemen, Umleitungsstrecken, Gleiswechselbetrieb oder sonstigen Alternativen ist während der Migrationsphasen nicht immer vorhanden:

- Die Umleitungsstrecken sind noch nicht mit ETCS ausgerüstet.
- Die Fahrzeuge verkehren auf ETCS-Strecken, besitzen aber nicht mehr das Class B-System.
- Das Gegengleis ist nicht mit ETCS ausgerüstet.
- (Noch) nicht alle Bahnhofsgleise sind mit ETCS ausgerüstet.
- Die Rückfallebene besteht nur aus ETCS-Level 1 mit verminderter Geschwindigkeit.
- Die Rückfallebenen sind mit überlangen Blockabständen konzipiert und vermindern dadurch die Streckenkapazität.
- Im Rangierbahnhof ist nur die Durchfahrtgruppe mit ETCS ausgestattet.
- ...

Im Sinne eines progressiven Ansatzes müssen, statt darauf zu warten, dass von Anfang an alle Rückfallmöglichkeiten vorhanden sind, betriebliche Szenarien mit ins Kalkül gezogen werden damit der Verkehr nicht zum Erliegen kommt:

- Der Zug bleibt stehen.
- Der Zug wird abgeschleppt.
- Der Zug wechselt die Lokomotive.
- Der Zug fährt im Level 0.

- Die Routen werden zur Entlastung der Strecken umgelegt.
- Der Zug fährt unter Triebzugführerverantwortung.
- Der Triebfahrzeugführer fährt auf schriftlichen Befehl.
- Es werden Routenkonzepte verwendet, die als Umleitungsstrecken eine Art Ringverkehr aufbauen.
- ...

Objektiv gesehen ist eine Unterscheidung in verschiedene Fehlerkategorien dazu unerlässlich. Jedes Eisenbahnunternehmen muss allerdings daraus für sich ein geeignetes Konzept entwickeln, das zu den Anforderungen der Infrastruktur der befahrenen Linien passt. Die Rückfallebenenbetrachtung des Infrastrukturbetreibers kann zu erheblichen Kosten auf der Fahrzeugseite führen. Sobald Zusatzaufwendungen auf der Fahrzeugseite über das ETCS hinaus erforderlich sind um weiter Betrieb durchzuführen so verschlechtert dies die Wirtschaftlichkeit für das EVU. Ziel muss es sein durch die gemeinsame Abstimmung zwischen EVU und Infrastrukturunternehmen wirtschaftlich und für den Betrieb vertretbar eine Lösung zu finden.

Die oberste Unterscheidungsebene, an der der Fehler auftreten kann, ist hierbei die Strecke und das Fahrzeug. Abhängig vom Ort bzw. Typ der Störung ist deswegen jeweils ein unterschiedlicher Betrachtungsansatz notwendig. Basis für die Fehlerdiskussion sind die ETCS-Hauptsysteme.

2.9.1 Hauptelemente der Fahrzeugausrüstung

Zur Betrachtung der Fehlertypen werden die folgenden ETCS-Hauptsysteme betrachtet:

- EVC - European Vital Computer
- Balisen-Antenne
- DMI / MMI – Driver Machine Interface
- JRU - Juridical Recorder Unit
- Odometer – Ortung / Wegmessung / Positionsbestimmung
- GSM-R-Einheit

Die Systeme für sich werden dabei als Ganzes betrachtet. Der Ausfall eines Teilsystems dieser Hauptsysteme, die die Funktionsfähigkeit des Hauptsystems ausser Kraft setzen, wird hier unter der Fehlerklasse des Hauptsystems abgehandelt.

2.9.1.1 Randprämissen zur Untersuchung der Störungen am Fahrzeug

Als Randprämissen für Störungen am Fahrzeug werden hier für alle Fehlerfälle unterstellt, das

- die Stromversorgung der Lokomotive gewährleistet ist,
- das GSM-R-System infrastrukturseitig intakt ist,
- das Stellwerk intakt ist und
- der Triebfahrzeugführer Kontakt mit dem Fahrdienstleiter aufnehmen kann.

Bei Veränderung der Randbedingung ist eine individuelle differenzierte Betrachtung der Auswirkungen und der Gegenmaßnahmen erforderlich, die in dieser Arbeit nicht näher untersucht wurde.

2.9.1.2 Fehlerbetrachtungen am Fahrzeug

Der Basisfall einer Störung an dem Fahrzeug lässt sich mit dem folgenden Szenario beschreiben:

Der Ausfall einer ETCS-Fahrzeugeinrichtung ist zunächst örtlich begrenzt und führt zum Stillstand eines einzelnen Zuges. Mit Hilfe eines schriftlichen Befehles kann der Triebfahrzeugführer mit verminderter Geschwindigkeit seine Fahrt fortsetzen.

Eine differenzierte Betrachtung der Fehler und den damit verbundenen Möglichkeiten den Verkehr so wenig wie möglich zu beeinflussen führt zu folgendem Bild:

Fehlerfall 1.1 Der EVC-Computer fällt aus

1. Ist die Strecke noch mit einem Class B-System ausgerüstet und hat das Fahrzeug ein dazu passendes unabhängiges Zugbeeinflussungssystem an Board: Weiterfahrt mit dem Class B-System ist möglich.
2. Existiert kein unabhängiges Class B-System und ist das übrige Zugsystem in Ordnung: Weiterfahrt ohne Überwachung, gemäß nationaler Betriebsordnung unter Führung des Fahrdienstleiters möglich.

Fehlerfall 1.2 Das GSMR-Fahrzeugsystem fällt aus

1. Im ETCS-Level 1 Betrieb: Weiterfahrt möglich, sofern der Triebfahrzeugführer und der Fahrdienstleiter miteinander kommunizieren kann.

Fehlerfall 1.3 Die Odometrie des ETCS-Systems fällt aus

1. Besitzt die Strecke noch ein Class B-System und das Fahrzeug ein unabhängiges, dazu passendes Zugbeeinflussungssystem: Weiterfahrt mit

dem Class B-System möglich, sofern Class B auf ein separates Geschwindigkeitsmesssystem zurückgreifen kann.

2. Existiert kein separates Geschwindigkeitsmesssystem: Stillstand des Zuges und Abschleppen notwendig.

Fehlerfall 1.4 Der Juridical Recorder fällt aus

1. Weiterfahrt ohne Sicherheitseinschränkungen möglich.

Fehlerfall 1.5 Der Balisenleser fällt aus

1. Besitzt die Strecke noch ein Class B-System und das Fahrzeug ein unabhängiges, dazu passendes Zugbeeinflussungssystem: Weiterfahrt mit dem Class B-System möglich, sofern Class B auf separates Geschwindigkeitsmesssystem zurückgreifen kann.
2. Keine Weiterfahrt möglich

Fehlerfall 1.6 Ein DMI fällt aus

1. Das redundante DMI übernimmt die Funktionen und eine Weiterfahrt ist möglich. Es besteht ein eingeschränkter Bedienkomfort des Triebfahrzeugführers.

2.9.2 Hauptelemente der Streckenausrüstung

Um eine Fehleranalyse bei den infrastrukturellen ETCS-Hauptsystemen durchzuführen, werden diese unter folgenden Kategorien zusammengefasst.

- Balisen, transparente (fixe) und schaltbare
- LEU - „Lineside Electronic Unit“, Signalanschaltboxen
- RBC - „Radio Block Center“
- GSM-R-Einheit

2.9.2.1 Randparameter zur Betrachtung der Störungen auf der Infrastrukturseite

Als Randparameter für die Fehleranalyse werden hier folgende Gegebenheiten zugrunde gelegt:

- die Stromversorgung der Lokomotive ist gewährleistet und
- der Triebfahrzeugführer kann Kontakt mit dem Fahrdienstleiter aufnehmen.

2.9.2.2 Beschreibung der Störungen auf Infrastrukturseite

Störungsfall 2.1 Das RBC fällt aus

1. Der Wirkungsbereich einer RBCs entspricht in der Regel gleich dem des dazugehörigen Stellwerks. Sind streckenseitige Signale vorhanden und das

Stellwerk kann seine Sicherheitsfunktion erfüllen: Weiterfahren auf Sicht nach nationalen Betriebsregeln möglich.

2. Besitzt die Strecke noch ein Class B-System und das Fahrzeug ein unabhängiges, dazu passendes Zugbeeinflussungssystem: Weiterfahrt mit dem Class B-System möglich.
3. Besitzt die Strecke keine Signale und kein Class B-System: Keine Weiterfahrt möglich. Es bestehen mittlerweile Projektierungsüberlegungen mit zusätzlichen Balisen eine Weiterfahrt des Zuges bis zum nächsten funktionierenden RBC-Bereich auch ohne Signale zu ermöglichen. Dies setzt im Vorfeld einer neuen Streckenprojektierung mit ETCS allerdings bereits eine dedizierte Fehlerbetrachtung und Lösung voraus.

Störfall 2.2 GSM-R fällt lokal aus: Wirkungsbereich Stellwerk

1. Der Wirkungsbereich einer RBCs ist gleich zu setzen mit dem des dazugehörigen Stellwerks. Sind streckenseitige Signale vorhanden und das Stellwerk kann seine Sicherheitsfunktion nachgehen: Weiterfahren auf Sicht nach nationalen Betriebsregeln möglich.
2. Besitzt die Strecke noch ein Class B-System und das Fahrzeug ein unabhängiges, dazu passendes Zugbeeinflussungssystem: Weiterfahrt mit dem Class B-System möglich.
3. Besitzt die Strecke keine Signale und kein Class B-System: Keine Weiterfahrt möglich
4. Konzeptionelles Engineering: Eine Erweiterung der RBC-Funktionalität im Hinblick auf Vergrößerung von Blocklängen über die gestörten BTS hinaus würde einen Betrieb mit eingeschränkter Streckenkapazität ermöglichen.

Störfall 2.3 GSM-R ist durch MSC-Ausfall gestört

1. Dies ist gleich zu setzen mit dem Ausfall einer kompletten Betriebsleitzentrale: Lokale Bedienung ist erforderlich. Nach Einsatz der lokalen Bedienung ist die Weiterfahrt möglich.
2. Der Ausfall einer MSC würde einen Einfluss auf ca. 1.000 Streckenkilometern bewirken. Die Verfügbarkeit, erreichbar zum Beispiel durch komplexe Redundanzkonzepte, muss eine maximale Störfrequenz von einer Störung pro 10 bis 15 Jahre aufweisen. Unter solchen Bedingungen ist auch der Stillstand des Verkehrs akzeptabel ohne weitere Rückfallebenen.

Störfall 2.4 Eine LEU ist ausgefallen

1. Dies ist gleich zu setzen mit einer Signalstörung: Weiterfahrt nach nationalen Betriebsregeln möglich.

Störfall 2.5 Ausfall einer Balise

1. Nach Zwangsbremmung und Auflösung, normale Weiterfahrt möglich.
2. Im Fahrzeuggerät das Tolerieren einer defekten Ortungsbalise projektieren.

Es existieren spezifische Lösungsmöglichkeiten und Redundanzanforderungen um mit Fehlerfällen auszukommen [PTS07]. Die Anforderungen, die der Bahnbetrieb in Bezug auf Verfügbarkeit und Kapazität setzt, bestimmen nach Berücksichtigung der daraus entstehenden wirtschaftlichen Effekte die zu treffenden Maßnahmen und Lösungen.

Jeder dieser Effekte beeinträchtigt in irgendeiner Weise den Betrieb. Es hängt in jedem Land, bei jeder Bahn und in jeder Situation von individuellen Philosophien ab, wie damit umgegangen wird. Gerade in den Migrationsphasen sollte man sich Gedanken darüber machen, ob es immer sinnvoll ist eine 100% Rückfallebene vorzusehen oder ob in dieser Übergangszeit eine Betriebsbeeinträchtigung akzeptiert werden kann. Hier liegt heute noch ein enormes Optimierungspotential und es besteht nicht immer ein Zusammenhang zwischen dem zusätzlichen Einsatz von Entwicklungs- sowie Projektierungskosten und den Effekten der Effekte [LEI07]. In die Überlegung einer zusätzlichen Maßnahme muss dabei die Häufigkeit des Fehlers bzw. die Ausfallwahrscheinlichkeit mit dem Vorhandensein einer Redundanzlösung mit einfließen.

Die notwendigen Risikoanalysen und Überlegungen zu Redundanzkonzepten sind länderspezifisch sehr unterschiedlich. Im Grundsatz unterscheiden sie sich allerdings nicht von den bisher durchgeführten Analysen für komplexe Zugleit- und Sicherungssysteme, zu denen auch ETCS zählt. Wichtig ist immer eine ganzheitliche Betrachtung des gesamten Systems. Dazu gehören neben den oben betrachteten Elementen auch der Fahrer und seine Bedienhandlungen [FAB06].

Für ein Eisenbahnverkehrsunternehmen ist Betrachtung der Rückfallebenen, und dazu gehört auch das Befahren von Umleitungsstrecken ein entscheidender Parameter in der Ausgestaltung der Migration.

2.10 Betrieb unter ETCS

Neben der Technik müssen für eine internationale Harmonisierung auch die Betriebsregeln abgestimmt werden. Die wichtigsten international zu behandelnden Themen lassen sich dazu unter folgenden Kategorien zusammenfassen:

- Betriebliche Regeln harmonisieren
- Internationale Abstimmung mit den zurzeit im Aufbau befindlichen MOU-Frachtkorridoren

- Anpassung der nationalen Regelwerke
- Harmonisierung der Bedienung der Lokomotiven/Triebzüge
- EU-Lokführerschein

Im idealen Fall bestimmen die betrieblichen Anforderungen die Funktionalitäten des technischen Systems. Die Ausprägung der Technik und der betrieblichen Anforderung unterliegen dabei den wirtschaftlichen Aspekten jedes Unternehmens.

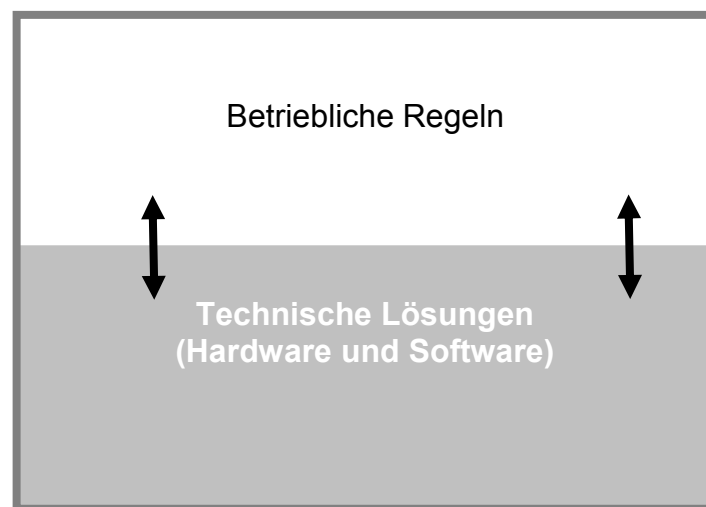


Abbildung 25 Schematische Unterteilung des Betrieb mit ETCS in betriebliche Regeln und technischen Lösungen

Die Gemeinsamkeit der betrieblichen Regeln und der technischen Lösungen ergibt den Betrieb unter ETCS. Dabei sind die technischen Lösungen per Gesetz über die legalisierte SRS immer interoperabel. Das globale Ziel ist es, die individuellen nationalen betrieblichen Regeln so weit zu minimieren, dass ein einheitlicher harmonisierter Betrieb möglich ist. Dabei verschiebt sich die Grenze in Abbildung 25 nach oben. Der ETCS-Level für sich bestimmt auch den Anteil der betrieblichen Regeln. So ist der Anteil der betrieblichen Regeln im Modus Limited Supervision erheblich höher als bei ETCS-Level 2. Das Ziel, die betrieblichen Regeln so weit zu minimieren und durch technische Lösungen zu ersetzen, steht international in Konkurrenz mit den einzelnen nationalen Regeln. Deswegen wird es immer einen Anteil betrieblicher Regeln geben [VEI05].

2.11 Zusammenfassung der Grundlagen

Das europäische Zugbeeinflussungssystem ist technisch mittlerweile weit fortgeschritten. Die Gesetzeslage schreibt mehr und mehr die Ausrüstnotwendigkeit auf der Infrastruktur- und Fahrzeugseite vor. Unterschiedliche ETCS-Level auf der Infrastrukturseite bieten für die entsprechenden Einsatzfälle verschie-

dene Möglichkeiten der Streckenkapazität und Problemlösung in Bezug auf die GSM-R-Ausrüstungen. Die Varianz auf der Fahrzeugseite besteht dabei mehr in der Wahl des Einbauzeitpunktes in eine Flotte oder Teilflotte. Die technische Lösung wird, wie in Abbildung 26 gezeigt, basierend auf den betrieblichen und kommerziellen Anforderungen gewählt.

Die einzelnen Parameter sind für Infrastruktur- und Fahrzeugausrüstung von Grund auf verschieden.

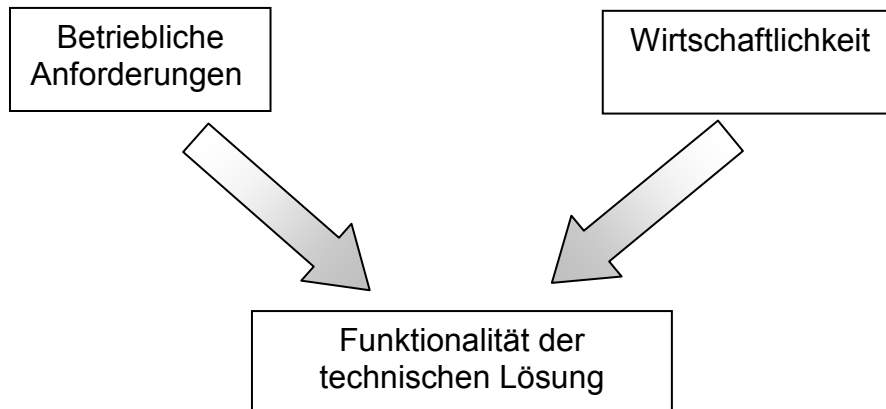


Abbildung 26 Basis der technischen ETCS-Lösung

Gerade in der Migrationszeit ist der kreative Umgang mit den Rückfallebenen ein wichtiger Faktor zur Bestimmung des Migrationsweges. Zusammen mit der Verwendung von einem idealisierten vierstufigen Integrationstest zwischen Fahrzeug und Strecke werden dabei viele sekundäre Kosten vermieden. Die internationale Harmonisierung der betrieblichen Regeln kann allerdings nur im ETCS-Level 2 und 3 erfolgen. ETCS-Level 1 oder L1LS basieren nach wie vor auf den bislang gültigen Betriebsregeln. Im störungsfreien Betrieb ist eine Annäherung an eine Harmonisierung wie in Level 2 denkbar.

3 Migration

Die Motivation der Ausrüstung von ETCS in den einzelnen Ländern und Bahnen sowie die Stärke des Ausbaugrades der ETCS-Strecken im Vergleich zu den übrigen Strecken sind überall unterschiedlich.

Dabei folgen die einzelnen Migrationsszenarien von Infrastruktur und Fahrzeug unterschiedlichen Prämissen und Zielrichtungen. In dieser Arbeit wird deswegen zwischen diesen beiden Ansätzen unterschieden. Nichts desto trotz birgt eine zwischen Fahrzeug- und Infrastrukturseite abgestimmte Migration Einsparpotentiale.

3.1 Ziele der Infrastrukturbetreiber

Die Gründe, die einen Infrastrukturbetreiber zu einer Ausrüstung seiner Strecken mit ERTMS/ETCS bewegen können, sind wie folgt zusammen gefasst:

- Gesetzesgrundlage
- Erhöhte Flexibilität
- Niedrigere Betriebskosten
- Europäisch offener Anbietermarkt
- Interoperabilität
- Intraoperabilität
- Ersatz von abgängiger Signal- und Zugbeeinflussungstechnik
- Erhöhte Funktionalitäten in den Triebzügen
- Erhöhte Sicherheit
- Erhöhte Streckenkapazität
- Erhöhte Verfügbarkeit durch Wegfall von optischen Signalen

Da aber jedes Infrastrukturunternehmen für sich nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten handeln muss, werden die Ziele in jedem Unternehmen unterschiedlich gewichtet.

3.1.1 Sachstand des ETCS-Ausbaus

Die Auswertung der nationalen ETCS-Ausbaupläne durch die Europäische Union brachte Ende 2007 als Ergebnis, dass nicht alle Mitgliedsstaaten in der gleichen Geschwindigkeit und in der gleichen Qualität ihre Strecken mit ETCS ausrüsten wie dies seinerzeit vorgesehen war. Die untenstehende aktuelle Statistik der EU zeigt dabei elementare Unterschiede auf.

ETCS Implementation im TEN-T Netz 2015

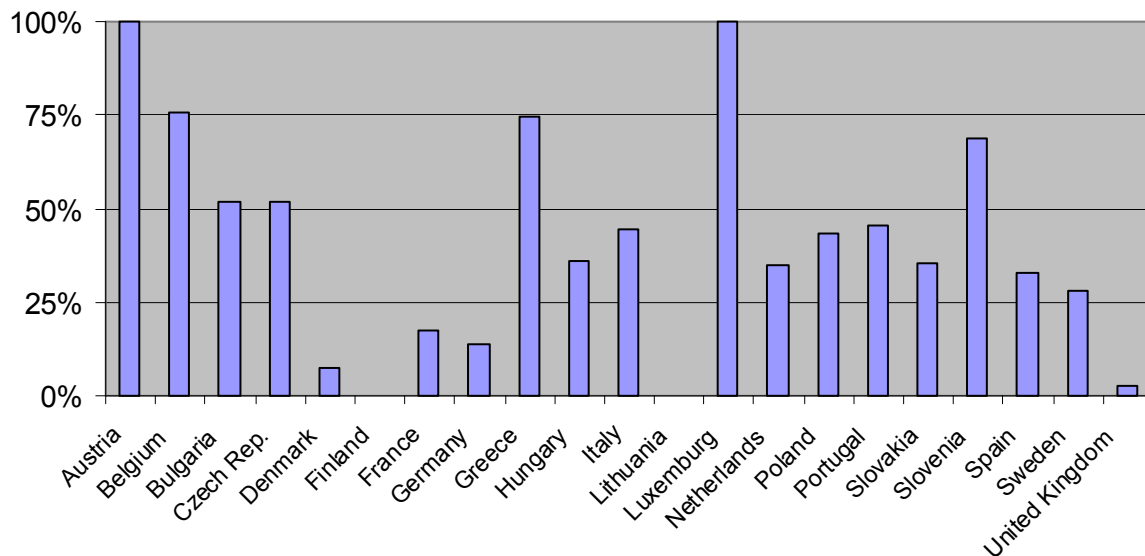


Abbildung 27 ETCS-Ausrüstung 2005 auf dem TEN-T Netzwerk bis 2015 [BMV07]

In der Abbildung 27 ist deutlich zu sehen, dass die einzelnen Länder mit ihrem ETCS-Ausbau unterschiedlich umgehen. Getrieben von unterschiedlichen Zielsetzungen führt dies zu diesem ungleichmäßigen Bild. Der Wille für die Einführung eines europäisch einheitlichen Zugbeeinflussungssystems bis 2020 ist seit 1994 in der EU ungebrochen [VEI05], doch liess sich damals noch nicht der langsame Fortschritt der Infrastrukturmigration erahnen. Gegenläufig dazu zeigten die Auftragseingänge der UNISIG seit 1999 einen deutlich wachsenden Trend, seitdem europaweit die ersten ETCS-Aufträge vergeben wurden [GAR07]. Die erste Level 1-Strecke wurde von der Bulgarischen Staatsbahn BDŽ für Sofia - Burgas bestellt sowie die erste Level 2 Strecke Jüterbog - Leipzig von der Deutschen Bahn.

3.1.2 Auswertung der Ziele ausgewählter Mitgliedsstaaten

Der Vergleich der Hauptziele und Beweggründe zur Implementierung von ETCS der 14 ausgewählten Bahnen zeigt, dass die genannten Gründe fast gleichmäßig auf

- die Erhöhung der Streckenkapazität,
- die Erhöhung der Streckengeschwindigkeit,
- die Erhöhung der Verkehrssicherheit und
- die Interoperabilität

verteilt sind. Der reine Interoperabilitätscharakter steht dabei nicht im Vordergrund.

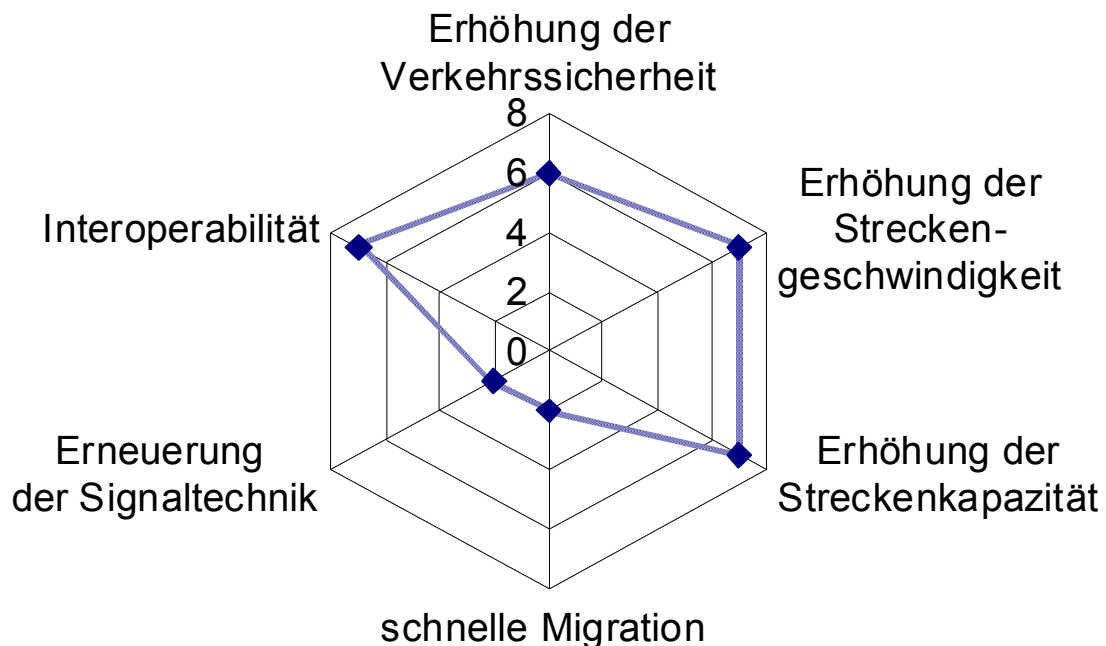


Abbildung 28 Primäre Gründe/Ziele der ETCS-Ausrüstung

Die Graphik in Abbildung 28 illustriert nach außen zunehmend die Wichtigkeit der Ziele. Die Erneuerung der Signaltechnik sowie eine schnelle Migration von dem alten zum neuen Zugbeeinflussungssystem ist auf Infrastrukturseite eines der am wenigsten genannten Ziele. Auch werden mitunter Ziele genannt [AND07], die in andere wirtschaftliche sowie Lebenszyklus bestimmende Elemente des Unternehmens eingreifen, sich aber nicht in den offiziell abgegebenen Migrationsplänen wiederfinden. Zum Teil handelt es sich hierbei um Erwartungshaltungen an das neue System:

- Reduzierung der technische Unterschiede und Inkompatibilitäten der vorhandener Zugbeeinflussungen
- Abkündigungen und Entwicklungstop bisheriger Zugbeeinflussungen einhergehend mit dem Lebenszyklusende der „Altsysteme“
- Nicht vorhandene oder ungenügende Zugbeeinflussungssysteme
- Vermeidung kostenintensiver Mehrfachausrüstung infrastrukturseitig
- Optimierung von Betriebsabläufen
- Verringerung der Instandhaltungs- und Wartungsaufwände
- Erhöhung der Knotenkapazitäten
- Verkürzung der Wendezeiten

Gerade die letzten beiden Ziele sind bisher noch nicht ausreichend betrachtet worden. Zum Tragen kommen diese Themen erst bei einer ausreichend hohen Anzahl von Zügen und Streckenkilometern mit ETCS.

Zusätzliche sekundäre Ziele durch die Einführung von ETCS lassen sich wie folgt definieren:

- Mehr Wettbewerb durch eine offene Lieferantenmarktstruktur
- Niedrigere Wartungskosten und Instandhaltungskosten (besonders bei Entfall der Signale)
- Intraoperabilität innerhalb eines Landes besonders in Großbritannien und Schweden
- Verbesserte Flexibilität vor allem bei Störungsfällen
- Zumindest gleiche Sicherheit und gleiche Kapazität wie das alte Class B-System

Aufgrund dieser Komplexität und der gerade angelaufenen Migration lassen sich heute wirtschaftlichen Aspekte und Nutzen aus der ETCS-Implementierung nicht genau greifen.

3.1.3 Migration des Zugbeeinflussungssystem der DB Netz AG

Es existiert eine zwischen VDB, Konzern, EBA und BMVBS abgestimmte ETCS-Migrationstrategie der DB Netz Infrastruktur. Diese wurde gemäß TSI am 05.09.2007 von dem BMVBS an die Europäische Kommission übergeben [BM207]. Fasst man diese Migrationsstrategie zusammen [PAN07], so reduziert sie sich auf folgende Hauptausrichtungen:

- Ausrüstung des HGV mit ETCS-Level 2 als Ersatz der LZB bis 2026
- Lückenschlüsse zum Schließen eines nur mit ETCS zu befahrenden HGV-Netzes zeitnah zu den HGV-Strecken auch bis 2026.
- Ausrüstung der Korridore Emmerich-Basel bis 2012/2015 und Aachen-Frankfurt(O)/Horka bis 2012/2015/2020 mit ETCS-Level 2 als Zielzustand.
- Einsatz von ETCS-L1LS dort, wo die Stellwerksinvestition von der ETCS-Investition entkoppelt werden kann. Dieser Aspekt kann erst betrachtet werden, wenn das Produkt LS verfügbar und zulassungsfähig ist.
- Der Rückbau des Class B-Systems PZB in einem überschaubaren Zeithorizont von 20 Jahren ist zurzeit nicht vorgesehen.

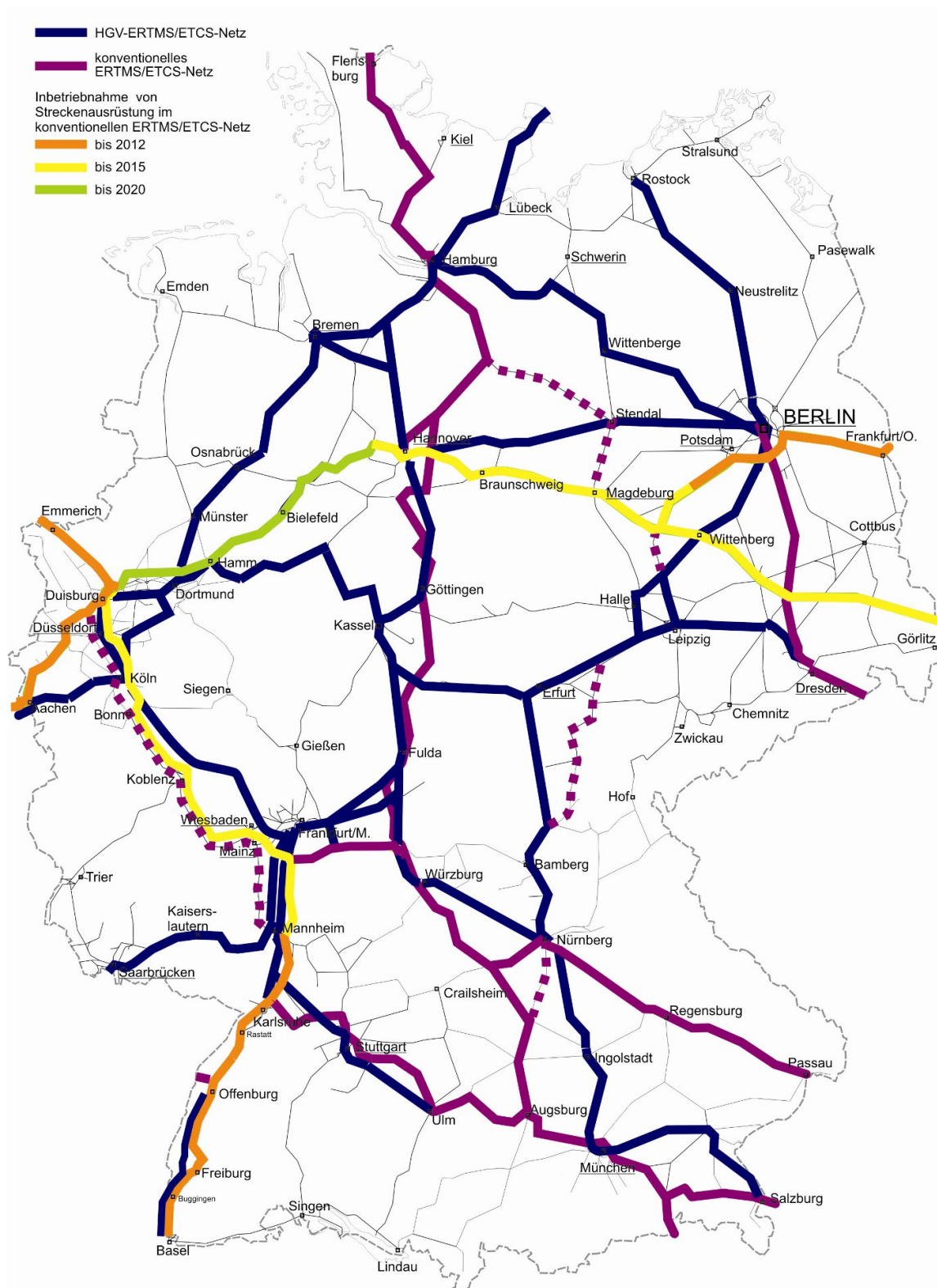


Abbildung 29 ERTMS-Ausbauplan der Bundesrepublik Deutschland [BMV07]

Ein grundsätzlicher Ansatz für die internationalen Verbindungen besteht darin, von den Grenzen abschnittsweise immer bis zu dem nächst größeren (Rangier-)

Bahnhof ETCS zu implementieren. Dies ermöglicht den ausländischen Fahrzeugen mit ETCS aber ohne Class B-System erst einmal nach Deutschland hinein zu fahren. Im zweiten Schritt erfolgt die Durchbindung ganzer Korridore oder Strecken. Dies führt, bevor das gesamte ETCS-Netz der DB Netz AG mit ETCS ausgerüstet ist, zu zwischenzeitlich mit ausschließlich ETCS nutzbaren Verbindungen.

Es existieren für die Strecken des nationalen Migrationsplanes szenarische Inbetriebnahmezeitpunkte, die nicht in allen Fällen durch die entsprechenden Finanzierungen hinterlegt sind.

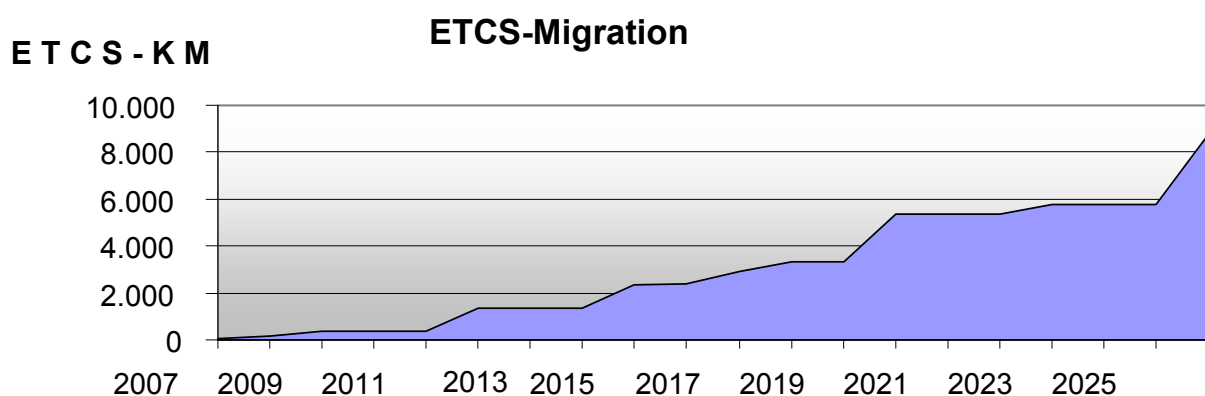


Abbildung 30 Szenarischer ETCS-Hochlauf der DB Netz AG

Wird diese Strategie auf eine Zeitleiste geschoben, erkennt man deutlich das Anwachsen des deutschen ETCS-Netzes. Die einzelnen sichtbaren Ausbauschübe erfolgen durch das Schließen von Korridoren oder ganzer Linien [GR307]. Szenarisch ist die Beendigung des Ausbaus mit 2026 angesetzt, die mit der Abschaltung der letzten LZB-Ausrüstung zusammenfällt. Alle Fahrzeuge, die über 160 km/h oder aber auf hoch belasteten Strecken fahren wollen, benötigen dann ETCS. Eine Untermenge der Gesamtkilometer sind Neubaustrecken, die hier, TEIV-konform, szenarisch als reine ETCS-Strecken angenommen wurden. Das EVU, das diese Strecken befahren möchte, hat damit zwingend eine ETCS-Ausrüstungsnotwendigkeit für seine Fahrzeuge.

3.2 Ziele der Eisenbahnverkehrsunternehmen

3.2.1 Internationaler Verkehr der Deutschen Bahn

Der internationale Verkehr als einer der strategischen Zielsetzungen der Deutschen Bahn gewinnt immer mehr an Bedeutung. In allen drei Produktlinien des ICE, des IC und des EC gibt es vermehrt Ziele zu den europäischen Nachbarmetropolen

Internationale Verkehrsziele des ICE	Internationale Verkehrsziele des IC- und EC
Kopenhagen	Kopenhagen
Wien	Szczecin
Innsbruck	Warschau
Zürich	Krakau
Interlacken	Prag
Paris Ost	Budapest
Brüssel	Wien
Paris Nord	Klagenfurt
Amsterdam	Ljubljana
Arhus	Zagreb
	Belgrad
	Innsbruck
	Verona
	Mailand
	Venedig
	Rom
	Zürich
	Chur
	Amsterdam Shiphol
	Linz
	Luxemburg

Tabelle 2 Internationale Ziele des Personenverkehrs der DB AG 2008[www.db.de]

Dieser internationale Personenverkehr verlässt Deutschland über 13 ETCS-Grenzen. Generell sind heute die internationalen Strecken, national wie international, nicht alle durchgängig mit ETCS ausgerüstet. Ebenso sind die in Deutschland durch die nationale ETCS-Migrationsstrategie festgelegten „ETCS-Grenzübergangsstrecken“ nicht immer deckungsgleich mit allen Strecken, die ins europäische Ausland führen.

Fasst man die Erwartungshaltungen der Eisenbahnverkehrsunternehmen und Fahrzeughalter an das neue Zugbeeinflussungssystem zusammen, so ergeben sich unter der dem Gesamtfokus von wirtschaftlichem Verkehr folgende Punkte aus Sicht des EVU:

- Interoperabler Verkehr national wie international
- Höhere Sicherheit

- Reduzierung der Fahrzeugausrüstung und Parallelausrüstung
- Höhere Knotenkapazitäten aus betrieblicher Sicht
- Höhere Streckenkapazitäten aus betrieblicher Sicht
- Geringere Wendezeiten

Diese Ziele differieren von denen der Infrastrukturbetreiber erheblich.

3.3 Ziele der Industrie

Die Aussagen und Interessen der Industrie für die Ausrüstung des Hochgeschwindigkeitsverkehrs (HGV) decken sich zum Teil mit denen der EU und der Infrastrukturunternehmen [MIN07]:

- Schließen der Verbindungslücken im ETCS-HGV
- Durchführen von schnellen grenzüberschreitenden Reisen mit der Bahn entsprechend dem Flugverkehr
- Gleichmäßig hohe Sicherheit in allen europäischen Bahnen
- Einführung von standardisierter Signalgebung zur Vermeidung der Länderspezifika
- Unterstützung des globalen Verkehrskonzeptes hin zum echten intermodalen Verkehr

Selbstverständlich geht bei der Industrie der wirtschaftliche Aspekt aus deren Sicht nicht verloren. Das Bestreben mit einmal getätigten Entwicklungen einen Return on Invest zu erreichen, bevor neue Entwicklungen angegangen werden, ist deutlich spürbar. Der Weg hin zu einer SRS 3.0.0 ist dadurch zum Teil schwierig, da die entwickelte SRS 2.3.0 eine lange Zeit benötigen wird um ihre Entwicklungskosten zu verdienen. Die Migrationsszenarien auf Infrastruktur- und Fahrzeugseite werden dagegen die Balance zu den notwendigen neuen Funktionen und den daraus resultierenden Entwicklungen halten müssen.

3.4 Ziele der Europäischen Union

Die Europäische Union begann ca. 1994 mit der Entwicklung der sogenannten Trans European Network, TEN das in die vier großen Verkehrsträgergruppen unterteilt wurde: Straße, Luft, Wasser und Schiene.

Basierend auf dieser Unterteilung ergaben sich daraus viele Untersuchungen und Konzepte wie auch Finanzierungsüberlegungen.

Beispielhaft dazu sollen die folgenden strategischen Richtungen für den Sektor Bahn sein:

- Abbau von technischen und betrieblichen Hemmnissen im grenzüberschreitenden Verkehr

- Marktöffnung für die Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) der Gemeinschaft
- Schaffung eines EG-weit offenen Marktes für Signalbau- und Fahrzeugindustrie
- Anstoß zur Erstellung technischer Spezifikationen für die Interoperabilität und der entsprechenden Euronormen für den Güterverkehr
- Schaffung einheitlicher Rahmenbedingungen für Prüfungen auf Konformität und/oder Gebrauchstauglichkeit und Benennung EG-weit anerkannter Gremien („benannte Stellen“) für die Prüfung auf Konformität und/oder Gebrauchstauglichkeit

Auch aus diesen Überlegungen heraus entstand der Gedanke des internationalen ETCS-Netzes auf Basis des TEN. Die Entwicklung der Technik und der Ausbau dieses Netzes wurde durch die EU vorangetrieben und dafür EU-Förderungen in erheblichem Maße bereitgestellt. Bis heute ist die Entwicklung in den Augen der EU nicht so rasch vorangeschritten, wie sie sich das vorgestellt hat. Resultierend aus den Auswertungen der in Brüssel vorliegenden nationalen Migrationsplänen der EU-Länder möchte die EU den Ausbau forcieren.

3.4.1 Gründe einer beschleunigten Einführung von ETCS in der Europäischen Union

Im Konsultationspapier [BMV07] des BMVBS wurden noch einmal klar die Gründe aufgezeigt, die dazu führten ETCS beschleunigt einzuführen. Dafür stellt die Europäische Union Fördermittel im Rahmen des MIP/TEN Förderprogramms zur Verfügung. Einer der Hauptgründe ist unter anderem das unterschiedliche Tempo, das die einzelnen Mitgliedsbahnen im Ausbau ihrer ETCS-Strecken an den Tag legen. Wie auch in dem Informationsblatt des ERTMS-Signal [DGT07] noch einmal deutlich dargestellt wurde, sind einzelne Länder, bezogen auf ihr Gesamtnetz, gerade am Anfang der ETCS-Implementierung, während andere Länder wie beispielsweise Österreich und Luxemburg im Zielhorizont bis 2015 bereits 100 % ihrer Netze mit ETCS ausgerüstet haben wollen. Einzelne Länder führen ihre eigene Kosten-Nutzen-Analyse durch und kommen aufgrund ihrer nationalen Optimierung auf einen längeren Ausrüstungszeitraum als die Zielwunschworgabe der Europäischen Kommission.

Um diese Unterschiede bei den europäischen Bahnen zu verkleinern, hat die Europäische Kommission beschlossen, eine beschleunigte Einführung von ETCS-Ausrüstung auf Infrastrukturseite durchzusetzen.

Berücksichtigt man das anwachsende ETCS-Netz bis 2020 gemäß Abbildung 30, so ist der Beschleunigungswille der Europäischen Kommission nachvollziehbar.

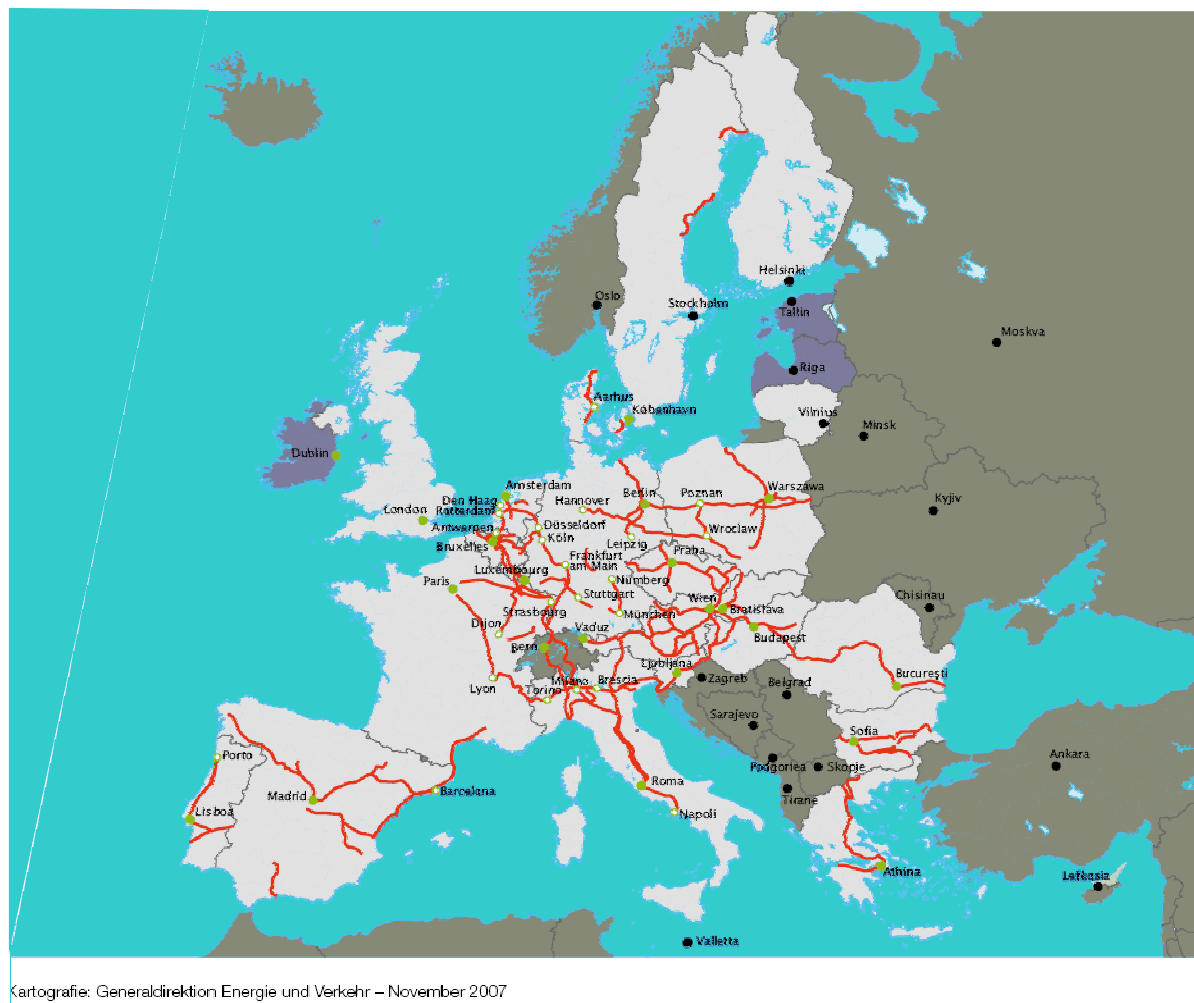


Abbildung 31 ETCS-Netz bis 2015 [/www.ertms.com/2007v2/projects_country.aspx]

Die einzelnen Gründe für die Beschleunigung der ETCS-Einführung aus Sicht der EU werden dabei wie folgt angegeben:

- Die Mobilitätsnachfrage ist in Europa gestiegen und die Eisenbahn muss ihre Wettbewerbsfähigkeit verbessern.
- Eine korridorbezogene Ausrüstungsstrategie wurde unter Federführung des von der Europäischen Kommission benannten Korridor-Koordinators ausgearbeitet. Studien haben ergeben, dass eine korridorbezogene Strategie eine schnellere Amortisation ermöglicht, wenn die Einführung gut koordiniert wird.
- Die Europäische Kommission hat im 18. Oktober 2007 einen Aktionsplan für den Aufbau eines vorrangig für den Güterverkehr bestimmten Schienennetzes aufgesetzt, der auf der korridorbezogenen Strategie basiert.

- Aufgrund der gestellten EU-Förderanträge zeigt sich eindeutig, dass in großem Maßstab sowohl strecken- als auch fahrzeugseitig die ETCS-Migration begonnen hat.
- Das ETCS mit der SRS 2.3.0(d) hat aus Sicht der EU einen stabilen, interoperabel einsatzfähigen Stand. Lediglich geringfügige Anpassungen, mit denen sehr spezifischen Situationen Rechnung getragen wird, sind vorzunehmen.
- Das Globalziel der Mitteilung vom 4. Juli 2005, innerhalb von 10 Jahren 20% des transeuropäischen Netzes auszubauen, scheint für die Mehrzahl der Mitgliedsstaaten erreichbar zu sein.

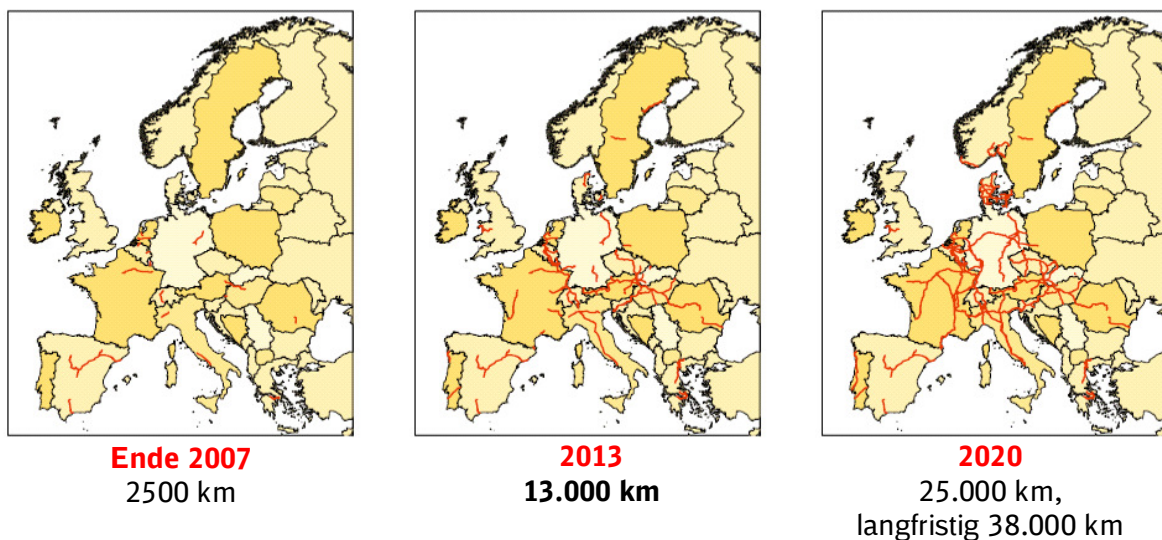


Abbildung 32 Wachsendes ETCS-Netz gemäß nationaler Migrationspläne

Aufgrund dieser Punkte konsultierte die Europäische Kommission die Mitgliedsstaaten und die Branche im Dezember 2007, um eine gemeinsame wirtschaftlich tragfähige Ausbaustrategie festzulegen. Die auch noch in 2008 nicht abgeschlossene Diskussion zeigt die Schwierigkeit, die unterschiedlichen Ziele auf einen Nenner zu bringen.

Die Kernelemente dieser Abstimmung lassen sich auf die folgenden, noch nicht abschließend diskutierten Punkte zusammenfassen.

- Die ETCS- Migration muss planbar sein. Dies impliziert eine Finanzierung durch den Mitgliedsstaat und der EU.
- Um die Migration zu optimieren, müssen die auszurüstenden Linien mit den generellen nationalen Ausbaurichtlinien zusammenpassen und die grenzüberschreitenden Linien mit den Nachbarbahnen synchronisiert sein.

- Um den Verlust an Sicherheit und Performance zu vermeiden und die Investitionen zur Erreichung der Interoperabilität zu schützen, müssen die Grundlagen der Migration auf der Verfügbarkeit der SRS 3.0.0 aufbauen können.
- Um ETCS zu nutzen, wenn es implementiert wurde sowie um Interoperabilität zu gewährleisten, ist es notwendig, den Korridoransatz weiter zu verfolgen.
- Der Erfolg der Migration muss mit Meilensteinen überwacht werden. Zur Erhaltung der notwendigen Flexibilität ist eine lineare Migration nicht akzeptabel. Das Schlüsselement ist das Erreichen der Zielparame-ter. Dabei unterstützt die DB AG grundsätzlich den nationalen Migrationsplan wie er an die Europäische Kommission EC gemeldet wurde.
- Linien, die exklusiv mit ETCS ausgerüstet sind, behindern Eisenbahn-unternehmen, da sie auch in ETCS investieren müssen, wenn sie auf diesen Strecken nur nationalen Verkehr durchführen. Aus diesem Grund besteht hier die Forderung, das existierende Zugbeeinflus-sungssystem solange wie notwendig zu erhalten.
- Solange auf einzelnen Strecken noch das alte Zugbeeinflussungssys-tem, das Class B-System, vorhanden ist, darf ETCS nicht als Netzzu-gangskriterium für diese Strecken gesetzt werden. Dies ist der einzige Weg um die unternehmerische Verantwortung der Eisenbahnunter-nehmen zu erhalten.
- Es wird jetzt nicht das komplette TEN mit ETCS ausgerüstet.

Diese Kernaussagen zeigen einen Ausschnitt der Vielschichtigkeit der Ziele, die zu den Zielen des internationalen generellen ETCS-Migrationsplans zusammen gefasst werden müssen.

Die bei der Erstellung der nationalen Migrationspläne der Infrastruktur ange-gebenen Kosten für die ETCS-Implementation enthalten in den meisten Fällen nicht die sekundäre Kosten, die begleitend für die ETCS-Ausrüstung notwendig sind:

- Implementierung von elektronischen Stellwerken für den Einsatz von ETCS-Level 2/3
- Auf- bzw. Umrüstung des existierenden Fahrzeugparks auf ETCS.
- Schulung von Fahrdienstleitern, Triebfahrzeugführern, Wartungs- und Instandhaltungspersonal

Beispielhaft für eine gemeinsame Bewertung aller Kosten hat dazu das Schweizer Ministerium zusammen mit den Schweizer Eisenbahnen SBB und BLS eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt. Diese Untersuchung kam zu dem Ergebnis, dass eine Migration über eine Zwischenlösung, die zwar noch nicht EU-konform, aber auf dem Weg dorthin ist, zu einer relativ überschaubaren Migrationszeit führt und parallel dazu die Implementierungskosten für neue elektronische Stellwerke vermeidet. Diese Zwischenlösung wird bei der SBB und BLS mit dem Einsatz von ETCS-Level 1 Limited Supervision umgesetzt.

3.5 Der internationale Verkehr mit ETCS

3.5.1 Aspekte des Güterverkehrs

Im Zuge der Entwicklung wurde sehr schnell klar, dass eine ganzheitliche Umsetzung von ETCS auf der Infrastrukturseite zu erheblichen finanziellen Belastungen für die betroffenen Bahnen führt. Soll ETCS zielgerichtet und in vernünftigen Zeiträumen eingeführt werden, ist dies nur über eine dedizierte Migrationsstrategie machbar. Aus diesem Gedanken heraus wurden im Rahmen des Trans European Transport Networks (TEN-T) die Güterverkehrskorridore prioritär entwickelt.

Innerhalb dieser definierten Güterverkehrskorridore sind sechs Verbindungen von besonderer Bedeutung. Sie beziehen sich auf etwa 6 % des gesamten europäischen Güterverkehrsnetzes, decken aber etwa 20 % des europäischen Güterverkehrs ab. Im Einzelnen sind dies die Korridore:

- Korridor A: Rotterdam – Genua
- Korridor B: Neapel – Stockholm
- Korridor C: Antwerpen – Lion
- Korridor D: Valencia –Lubljana
- Korridor E: Dresden – Prag
- Korridor F: Aachen – Warschau(Bellarussia)

Bei einer eingehenden Betrachtung dieser europäischen Verkehrsrelationen wird deutlich, dass die Verbindung von den Nordseehäfen Hollands zum Mittelmeer besonders verkehrsintensiv ist [JUN07]. Dennoch ist eine Erweiterung der Korridore gerade in den südöstlichen Bereich von Europa als zukunftssträchtige Investition gerade in der Verhandlung.



Abbildung 33 MOU Karte der Korridore [www.dgtren.de]

Die Güterverkehrsrelation von Rotterdam nach Genua über Holland, die Bundesrepublik Deutschland, die Schweiz mit den beiden Bahnen SBB und BLS und Italien hat aufgrund des größten Güterverkehrsaufkommens eine herausragende Bedeutung im Schienennetz Europas. Bis 2020 wird eine Verdopplung des Transportaufkommens erwartet. Diese Leistung kann nur erbracht werden, wenn zum einen die Infrastruktur in den hoch belasteten Engpassbereichen ausgebaut wird, zum anderen aber auch die Zugbeeinflussungssysteme an diese hohen Leistungen angepasst sind. Der Grenzübergang spielt ebenso eine Rolle wie die Möglichkeit, flexibel auf Verkehrsmengensteigerungen durch aktive Betriebsführungstechniken zu reagieren. Im Mai 2005 haben deshalb die Verkehrsminister der Länder ein Memorandum of Understanding (MOU) unterzeichnet, mit dem sie sich darauf verständigt haben, bis zum Jahre 2015 den Korridor Rotterdam - Genua als Güterverkehrskorridor mit ETCS ausgerüstet in Betrieb zu nehmen. Dabei wurden folgende Ziele gesetzt:

Es muss gelingen, die Kapazität und Verfügbarkeit um jeweils 30 % zu steigern und die Reisezeit ebenso wie die Transportkosten um 30 % zu verringern. Diese Aufgabe kann nur gelöst werden, wenn Politik und Eisenbahnunternehmen eng abgestimmt zusammenarbeiten.

Alle sechs Korridore sind eingebettet in die 30 wichtigsten Projekte der Europäischen Kommission. Diese bevorzugt grundsätzlich den Aufbau eines vorrangig für den Güterverkehr bestimmten Schienennetzes [KOM07]. Dafür wurde ein erster Entwurf zur Kommentierung an die Mitgliedsstaaten verschickt.

Dieses Schienennetz soll selbstverständlich auch mit ETCS ausgerüstet werden, wie in der Empfehlung zu lesen ist:

„Grundlage des vorgesehenen Netzes wären die bestehenden transeuropäischen Netze, darunter auch das in der Richtlinie 2001/12/EG beschriebene Güterverkehrsnetz sowie die Korridore, die für die Einführung des ETCS als vorrangig eingestuft sind oder die im Rahmen der europäischen Forschungsvorhaben (Eufranet, Trend, Reorient und New Opera) festgelegt wurden. Die folgende Darstellung (siehe Abbildung 33) gibt einen Überblick über die Korridore, die einen Teil dieses Netzes ausmachen könnten.“

Dies würde einen erheblichen Infrastrukturausbau für alle Mitgliedsbahnen bedeuten. Da aber in den meisten Bahnen Güter und Personenverkehr im Mischverkehr auf denselben Gleisen unterwegs sind, ist eine Separierung des Verkehrs finanziell aufgrund des zusätzlichen Infrastrukturausbaus nicht realisierbar und zurzeit noch eine Zukunftsvision der Europäischen Kommission.

Die ersten Schritte um dieses Vision Wirklichkeit werden zu lassen sind mit der Schaffung einer zentralen Datenbank, der ERIM: European Railway Infrastructure Masterplan, angestoßen. Diese dient als Basis sämtlicher internationaler Wirtschaftlichkeits- und Verkehrsuntersuchungen und wird von der UIC gepflegt. In der Datenbank sind Informationen über die Infrastrukturparameter sowie über die Verkehrszahlen enthalten.

3.5.2 Aspekte des Personenverkehrs

Die Liberalisierung des Eisenbahnverkehrs sowie die Globalisierungsanstrengungen der Personverkehrsunternehmen führen zu immer mehr grenzüberschreitenden Verkehr. Allianzen wie das RailTeam mit den Mitgliedern DB Bahn, TGV(SNCF), ÖBB, SBB CFF FFS, SNCB, NS Hispeed und Eurostar möchten ähnlich wie im Flugverkehr dem Passagier einfacher und komfortableres Reisen im europäischen Hochgeschwindigkeitsnetz ermöglichen.

Die Relationen dieser Allianzen führen in erster Linie über Hochgeschwindigkeitsstrecken, die zukünftig auch, neben den Güterverkehrskorridoren, zu den klassischen ETCS-Strecken zählen werden.

Allein der DB Fernverkehr bedient heute schon mehr als 50 Linien der gesamten vom RailTeam strategisch vorgesehen Verbindungen.



Abbildung 34 Internationale RailTeam-Verbindungen

Bis 2020 kommen noch mehr als 10 Linien hinzu. Mehr als 60% dieser Linien führen, von Deutschland aus gesehen, ins Ausland.

Diese Verbindungen führen sowohl über existierende wie auch über neue Strecken, die zurzeit mit ETCS ausgerüstet werden. Ein Aspekt zum Betrieb dieser internationalen Linien ist die Minimierung der Kosten. Die durch die Infrastruktur entstehende ETCS-Ausrüstnotwendigkeit ist dabei ein entscheidender Faktor um die Verkehre und die Fahrzeugausrüstung zu planen. Gerade das Umfeld mit Neuanschaffungen bzw. Nachrüstung von Bestandsfahrzeugen birgt dabei Optimierungspotential bei der ETCS-Ausrüstung.

Eine Auswertung der ETCS-Implementierungen auf den internationalen Linien, die der Fernverkehr der DB befährt, führt für die befahrenden Fahrzeuge zu der in Abbildung 35 dargestellten ETCS-Ausrüstnotwendigkeit.

Anwachsen der Linien mit ETCS-Ausrüstnotwendigkeit

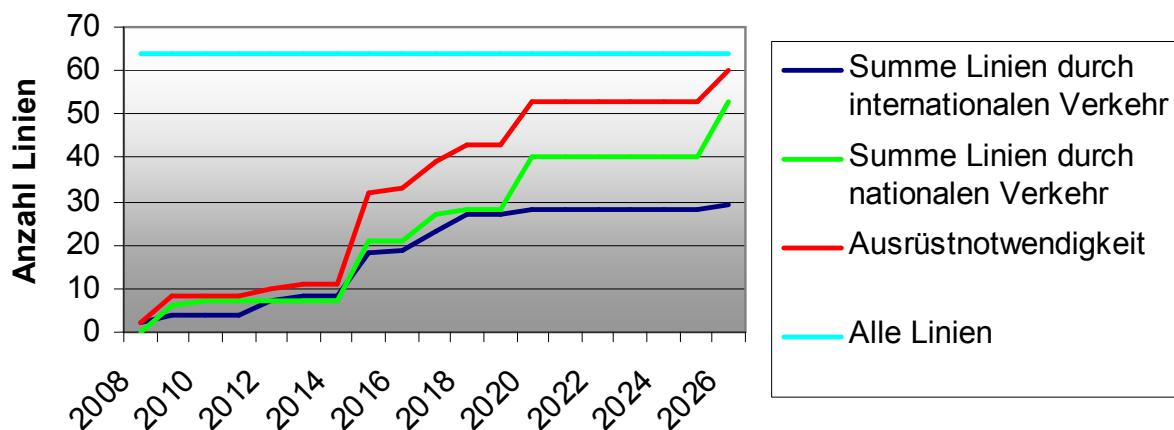


Abbildung 35 Auswertung internationale Fernverkehrs-Linien mit ETCS

Diese Auswertung bezieht sich strikt auf die ETCS-Ausbaupläne der durchfahrenden Nachbarbahnen sowie von Deutschland und berücksichtigt dabei das Alleinstellungsmerkmal „nur ETCS“ auf den entsprechenden Strecken. Den nationalen Linien liegt der in Brüssel vorliegende ETCS-Migrationsplan von 2007 des deutschen Ministeriums für Verkehrs-, Bau- und Stadtentwicklung BMVBS zu Grunde. Die Summe der Linien, die eine ETCS-Ausrüstnotwendigkeit der Fahrzeuge voraussetzen, ist dabei nicht direkt die Summe der nationalen und internationalen Linien, da teilweise Linien mit reinem nationaler Verkehr auch von internationalen Linien befahren werden und deswegen nicht doppelt gezählt werden. Um eine Ausrüstung der Fahrzeuge mit ETCS kommt man nicht herum. Den Weg dahin gilt es zu optimieren. Die Vielzahl der Flotten, die verschiedenen existierenden Baureihen, die unterschiedlichen Einsatzkonzepte, neue Verkehre sowie die zukünftigen Neufahrzeuge müssen in einem Gesamtmigrationskonzept berücksichtigt werden.

3.6 Notwendige Transitionen für den Auslandsverkehr

Die Abbildung 35 zeigt deutlich den anwachsenden ETCS-Bestand an Zugbeeinflussungssystemen. In dieser Wachstumsphase existieren parallel dazu immer noch die alten Class B-Systeme. Gerade an der Grenze stoßen noch lange verschiedene Zugbeeinflussungssysteme aufeinander. Das Fahrzeug muss in diesem Falle eine Transition durchführen. Eine Auswertung der Linien des Fernverkehrs der DB AG führt dabei zu dem Ergebnis, dass fast zwei Drittel des Ver-

kehrs ins Ausland geht und demzufolge heute noch die Transitionen zum Class B- System der Nachbarinfrastruktur beherrschen müssen.

Notwendige Class B-Systeme Onboard	Anzahl Linien	Verschiedene Länder	Bemerkung
1	24	1	Reiner nationaler Verkehr
2	36	10	Linien führen nur über 1 Grenze aber in 10 Länder
3	4	6	Linien führen über 2 Grenzen und in 6 Länder

Tabelle 3 Notwendige Class B-Systeme auf den Linien des DB Fernverkehrs

Neben der technischen Lösung bedeutet jede Transition besondere Aufmerksamkeit und Bedienhandlungen des Triebfahrzeugführers. Komfortabel ist eine Transition erst ohne weitere Bedienhandlungen des Triebfahrzeugführers während des Fahrens. Dies ist heute gerade bei dem Wechsel zu ETCS und zurück noch nicht überall möglich. Das Umschalten im Stand während des Halts in einem Bahnhof ist die zweitbeste Möglichkeit und bedingt dadurch eine bestimmte Haltezeit. Dies setzt voraus, dass der Bahnhof auch mit ETCS ausgerüstet ist. Die schlechteste Lösung ist ein außerplanmäßiger Halt außerhalb eines Bahnhofes nur zum Wechsel des Zugsicherungssystems. Unabhängig von der verlorenen Zeit treten dabei hohe Energiekosten allein für das Wiederauffahren des Zuges auf.

3.7 Zusammenfassung der ETCS-Migrationsgrundlagen

Das europäische Zugbeeinflussungssystem wurde spezifiziert und es wurde für vielfältige Anwendungs- und Einsatzbedingungen definiert. Aufgrund der bisher existierenden Realwelt mit mehr als 20 verschiedenen Zugbeeinflussungssystemen muss eine Migration über eine längere Zeitdauer erfolgen. Jeder einzelne Beteiligte: Infrastrukturbetreiber, Fahrzeugbetreiber, Zulassungsbehörden, sowie die EU, die die Abstimmung der Spezifikation wie auch eine teilweise finanzielle Unterstützung leistet, haben divergierende Ziele. Ohne gemeinsame Absprachen ist eine individuelle Migration einer Einzelgruppe nur eine suboptimale Lösung. In diesem Kapitel wurden die erarbeiteten einzelnen Beweggründe der einzelnen Gruppen dargestellt und diskutiert. Als wichtigstes Ergebnis daraus ist mitzunehmen, dass nur auf fundierten und verlässlichen Migrationsszenarien eines Partners, der andere eine sinnvolle Strategie auf-

bauen kann. Darauf aufbauend kann im zweiten Schritt eine abgestimmte Feinoptimierung durchgeführt werden.

Durch die lange Lebensdauer von Infrastrukturelementen und Fahrzeugen kann eine sofortige Umstellung des alten Zugbeeinflussungssystems auf das neue ETCS nicht sofort erfolgen. Die in den meisten Fällen wirtschaftlich unabhängigen Unternehmen auf Infrastruktur- und Verkehrsseite verfolgen zudem unterschiedliche Ziele, die nicht immer aufeinander abgestimmt sind. Die Ziele der EU zur Beschleunigung der Einführung und die wirtschaftlichen Ziele der Industrie beeinflussen zusätzlich den Weg hin zu einem ETCS-geführten Verkehr.

Die einzelnen Ansätze über ETCS-ausgerüstete Korridore und dazu passenden Fahrzeugflotten ist international der erste Schritt zu einem ETCS-Netz. Der wirtschaftliche Aspekt der ETCS-Ausrüstung gewinnt in den Entscheidungen immer mehr an Bedeutung und entscheidet über den individuellen Migrationsweg.

4 Prozess zur Bestimmung einer optimalen ETCS-Migration

Jedes Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) hat unter anderem die Aufgabe und das Ziel unternehmerisch zu entscheiden. Dazu gehört neben der Erfüllung von hoheitlichen Aufgaben auch das Erreichen von wirtschaftlichen Zielen.

Das unternehmerische Ziel des Fernverkehrs,

Verkehr wirtschaftlich durchzuführen,

ist damit in Einklang zu bringen, ein gesetzlich vorgeschriebenes Zugbeeinflussungssystem zusätzlich in die Fahrzeuge einzubauen.

Jedes Verkehrsunternehmen hat verschiedene Gründe, die zu einer Ausrüstung der Fahrzeuge führen können.

Diese Gründe können unter anderem sein:

- Umstellung der Infrastruktur auf ETCS
- Erhöhung der Sicherheit durch neue Zugbeeinflussungssysteme im Verbund mit der Infrastruktur
- Erhöhung der Streckenkapazität aufgrund der Eigenschaften neuer Funktionalitäten im Vergleich zu den alten Zugbeeinflussungssystemen
- gesetzliche Vorgaben, die den Bestandsschutz der alten Fahrzeuge aufheben
- politischer Druck dem europäischen Gedanken zu folgen

Alle diese Gründe führen zu einer Ausrüstnotwendigkeit der Fahrzeuge eines Verkehrsunternehmens.

4.1 Prozess der Migration eines Eisenbahnverkehrsunternehmens

Ausgehend von dieser Ausrüstnotwendigkeit der Fahrzeuge mit ETCS wird in dieser Arbeit der Prozess für eine optimale Migration der Fahrzeugausrüstung vorgestellt.

Der wichtigste Startpunkt in diesem Prozess ist die Bestimmung der Gestaltungselemente die für die individuelle Migration überhaupt zur Verfügung stehen. Ausgehend von der gesamten Menge der Gestaltungselemente ist es notwendig die wichtigsten Mess- und Steuergrößen herauszuarbeiten. Dieses wird über die Einflussmatrix und der daraus bestimmbaren aktiven, passiven, kritischen und puffernden Elementen durchgeführt. Eine Komplexitätsreduktion nach der „Siebener-Regel“ führt zu den wichtigsten Mess- und Steuergrößen.

Über eine Untersuchungskette werden dann die verbleibenden Migrationsalternativen miteinander über die Kapitalwertmethode verglichen. Das Ergebnis dieses Prozess ist der wirtschaftlich optimale Migrationsweg für diesen Anwendungsfall.

Für die Optimierung der Migration ist grundsätzlich zwischen zwei Kategorien zu unterscheiden:

- Ausrüstung von Neufahrzeugen
- Nachrüstung von Bestandsfahrzeugen.

Abhängig von dieser Unterscheidung können verschiedene Wege das wirtschaftliche Optimum bedeuten. Der hier entwickelte Prozess mit seinen Entscheidungs- und Untersuchungsmöglichkeiten ist für beide Kategorien anwendbar. Die unterschiedlichen Hebel der Gestaltung wurden in dieser Arbeit nach Anwendbarkeit bei Neu- und Bestandsfahrzeugen differenziert.

Zur Bestimmung einer optimalen Migrationsstrategie sind die Prozessschritte unter Umständen mit veränderten Randparametern wiederholt zu durchlaufen. Diese Prozessschritte führen über die Variation der entscheidenden Hebel und Gestaltungselemente zu einem optimierten Migrationsweg. In Abbildung 36 sind die Prozessschritte übersichtlich in eine zeitliche Reihenfolge gebracht. Die detaillierte Beschreibung der einzelnen Prozessschritte folgt in den nachstehenden Kapiteln.



Abbildung 36 Prozessschritte des optimalen Migrationsweges

Eine exemplarisch durchgeführte Sensitivitätsanalyse einzelner Gestaltungselemente gibt ein Indiz für die Effekte durch Variation dieser Elemente.

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit und zur Auswertung der beispielhaften Sensitivitätsanalyse wurde ein Simulationstool entwickelt, das ebenfalls in diesem Kapitel beschrieben wird.

4.2 Hebel der Migrationsstrategie eines Eisenbahnverkehrsunternehmens

Neben dem vereinfachten Vorgehen, alle Fahrzeuge sofort mit ETCS auszurüsten, gibt es verschiedene Hebel und Gestaltungsmöglichkeiten die Ausrüstung wirtschaftlich zu gestalten. Die Hebel und Elemente, die die ETCS-Migrationsstrategie beeinflussen, sind vielfältig und nicht alle Hebel können in allen Situationen angewendet werden. Die in dieser Arbeit vorgestellten prozessuale Hebel und Elemente, greifen nicht in die direkte Beeinflussung der Einkaufskosten von Leistungen und Hardware ein. Eine Möglichkeit der Kostenreduktion auf dieser Ebene ist nicht Inhalt dieser Arbeit.

4.2.1 Wegfall von Verkehr

Aus verkehrspolitischer Sicht stellt sich der Verzicht auf ETCS-Strecken, die eine ETCS-Ausrüstnotwendigkeit erfordern, als unvorteilhafteste Lösung dar. Innerhalb jedes Eisenbahnverkehrsunternehmens existieren für jede Relation Bewertungen der Einnahmen durch die beförderten Passagiere oder Güter. Eine Wirtschaftlichkeitsberechnung, die die Einnahmen den Kosten des ETCS-Einbaus gegenüberstellt, kann objektive Argumente für oder gegen die Ausrüstung der betroffenen Baureihen mit ETCS liefern. Ungeachtet dieser objektiven Kosten-/Nutzen-Bewertungen spielt gerade im internationalen Verkehr die politische Ausrichtung eine große Rolle. So wird die Entscheidung nicht immer allein von dem Ergebnis der Kosten-/Nutzen-Bewertung abhängig sein.

Dieses Gestaltungselement ist für die ETCS-Nachrüstung der Bestandsfahrzeuge oder für die Ausrüstung der Neufahrzeuge mit STM interessant.

4.2.2 Fremde ETCS-Loks mieten

Ein alternativer Ansatz, um Verkehr im Sinne von Transport von Passagieren und Gütern durchzuführen, ist das Leihen von ETCS-Lokomotiven oder ganzen Triebzügen.

Es gibt mehr und mehr Anbieter von Lokomotiven, die international einsatzfähig sind. Ergibt die Wirtschaftlichkeitsanalyse, dass sich die Umrüstung oder gar der Neukauf für Lokomotiven bei Strecken, die eine ETCS-Ausrüstnotwendigkeit auf Fahrzeugseite bedingen, nicht rechnet, so kann eine alternative Wirtschaftlichkeitsrechnung empfehlen, für diesen ausgewählten Verkehr mit ETCS ausgerüstete Lokomotiven zu mieten. Dieser Schritt hat auch den Vorteil, dass in der Übergangszeit bis zur Neuinvestition von Lokomotiven bzw. Triebzügen Verkehr gewährleistet werden kann. Wird eigenes Wagenmaterial benutzt, so ist nur die Anmietung von Lokomotiven erforderlich. Eine andere Dimension hat das Anmieten von kompletten Flotten, die auch aus Triebzügen bestehen

können. Beispielhaft ist der Dänemarkverkehr heranzuziehen, bei dem von der dänischen Staatsbahn Verkehr mit Triebzügen der DB AG durchgeführt wird. Ähnliche Konzepte sind denkbar, in denen die DB AG Triebzüge von ausländischen EVU anmietet, die, bedingt durch die ETCS-Ausrüstungsnotwendigkeit, im Nachbarland bereits Verkehr durchführen und in Deutschland mit dem deutschen Class B-System unterwegs sind.

Dieses Gestaltungselement ist für die ETCS-Nachrüstung für Bestandsfahrzeuge oder für die Ausrüstung von Neufahrzeugen mit STMs interessant.

4.2.3 Verlegung der Streckenführung

Ein interessanter Aspekt, der in erster Linie für Neuanschaffungen relevant ist, ist die Ausrichtung der Streckenführung auf Strecken, die durchgängig mit ETCS zu befahren sind. Als Voraussetzung wird angenommen, dass Neufahrzeuge während der Zeit bis das gesamte Netz mit ETCS ausgerüstet ist als Basiszugbeeinflussungssystem ETCS erhalten. Im klassischen Fall würden zusätzlich STM für all diese Strecken in das Fahrzeug eingebaut, die noch nicht mit ETCS ausgerüstet sind.

Das Optimierungspotential liegt in einer kreativen Streckenführung, die nur noch mit ETCS ausgerüstet ist. Dies kann zu längeren Streckenabschnitten führen, vermeidet aber den Einbau des sonst notwendigen STM in dieser (Teil-) Flotte. In Einzelfällen kann es dazu kommen, dass, wenn kurze Teilstücke der Strecke noch nicht mit ETCS ausgerüstet sind, diese Teilstücke mit ETCS nachgerüstet werden müssen. Mit ETCS-L1LS und der SRS 3.0.0 halten sich hier die Infrastrukturkosten in Grenzen. Wer die Kosten für diesen Infrastrukturausbau, der nur für den internationalen, fremden Verkehr erforderlich ist, übernimmt, muss im Einzelfall geklärt werden.

4.2.4 Einflussnahme auf den ETCS-Ausrüstungszeitpunkt der Strecke

Der Ausrüstungszeitpunkt einer Neubaustrecke ohne gleichzeitige Ausrüstung mit dem auf dem Fahrzeug vorhandenen Class B-System der entsprechenden Strecken führt zwangsläufig auf den Fahrzeugen zu der Ausrüstung mit ETCS.

In einem Verbundkonzern kann auf der nationalen Seite eine gemeinsame Migration zwischen Infrastruktur und Fahrzeugseite durchgeführt werden. Für den internationalen Verkehr ist diese Abstimmung nicht ganz so einfach.

Für einen durchgängigen ausländischen ETCS-Verkehr fehlen manchmal nur ganz kurze Stücke, die nicht mit ETCS ausgerüstet sind. Kann die Linienführung nicht umgelegt werden, so besteht die Möglichkeit, mit den Infrastrukturbetreibern in Kontakt zu treten und über eine beschleunigte Ausrüstung dieses kurzen Streckenstückes zu diskutieren. Manchmal kann es gerade bei der Neuanschaffung von Fahrzeugen wirtschaftlicher sein, dem Nachbarinfrastruktur-

betreiber ein Stück ETCS-Implementierung, z.B. das preiswerte L1LS, zu finanzieren, als für diese Flotte das für das kurze Stück notwendige Class B-STM einzubauen.

Interessant ist dieses Gestaltungselement für die ETCS-Nachrüstung der Bestandsfahrzeuge.

4.2.5 Einfluss auf die Migration der ETCS-Infrastruktur

Die ETCS-Migration auf Infrastruktureseite erfolgt normalerweise losgelöst von der Einflussnahme der EVU. Gesteuert von den zur Verfügung stehenden Investitionsmitteln und priorisiert nach

- Gesetzgebung,
- Sicherheit,
- Abgängigkeit,
- Wirtschaftlichkeit und
- politischen Zwängen

erfolgt der Infrastrukturausbau mit in den meisten Fällen nachgelagerter Priorität für den ETCS-Ausbau. Anhand der nationalen ETCS-Migrationspläne der europäischen Mitgliedsstaaten entsteht ein ETCS-Netz, das sich mehr oder weniger abgestimmt in den folgenden Punkten darstellt:

- Die ETCS-Grenzstreckenführung einiger Länder laufen auf das Nachbarland zu, dessen gegenüberliegende Strecke nur mit dem dortigen Class B-System zu befahren ist.
- Die Korridorstreckenführungen, die an der Grenze über verschiedene Grenzbahnhöfe geführt werden, stoßen somit nicht als ETCS-Strecken zusammen.
- Der zeitliche Ausrüstungszeithorizont passt diesseits und jenseits der Strecke nicht zusammen.
- Eine durchgängige ETCS-Ausrüstung der gesamten Strecke für den Metropolenverkehr ist nicht vorgesehen.

In Einzelfällen ist es den EVU möglich auf eigene Kosten auf der Infrastruktureseite ETCS nachzurüsten, um auf Fahrzeugseite das nationale Class B-System zu ersparen.

Eine Einflussnahme auf die EU zur Steuerung des ETCS-Ausbaus EU-weit endet meistens in Absichtserklärungen, da die nationalen Restriktionen immer vor den europäischen Empfehlungen Vorrang haben.

Dieses Gestaltungselement ist für die ETCS-Nachrüstung für Bestandsfahrzeuge oder für Ausrüstung von Neufahrzeugen mit STMs interessant.

4.2.6 Specific Transmission Module

Aufgrund der europäischen Entscheidung, dass kein europäisches Specific Transmission Module STM (SE) gefordert wird, wird es STM immer nur national und bedarfsorientiert geben [BRE07]. Dabei macht ein STM nur Sinn, wenn

- bei Neufahrzeugen ETCS ohnehin das Basiszugbeeinflussungssystem darstellt und das STM zum Befahren von Strecken, die nur mit Class B-Systemen ausgestattet sind, notwendig ist.
- bei Bestandsfahrzeugen die ETCS-Onboard-Nachrüstung dazu führte, dass ETCS das Basis-Zugbeeinflussungssystem des Zuges wurde.

In allen anderen Fällen ist eine Integration des ETCS in das bzw. die bestehenden Zugbeeinflussungssysteme notwendig. Es erfolgt eine reine, baureihenspezifische Lösung. Auch hier ist es das Ziel, so wenig wie möglich STM an Board zu installieren.

Dieses Gestaltungselement ist in erster Linie für die Ausrüstung von Neufahrzeugen mit STMs interessant.

4.2.7 Lok-Pool-Bildung einer internationalen Ausrüstungsreserve

Ein Optimierungsansatz ist die Reduzierung der Flottenreserve mit internationalen Partnern. Je nach Größe einer Flotte werden Reservezüge benötigt, um im Havariefall den Verkehr aufrecht zu erhalten, so benötigt ein Mitbewerber auf dieser Relation ebenfalls Reservezüge für seinen Verkehr. Passen Servicekonzept, Linienführung und Qualitätsstandard zusammen, ist es möglich über strategische Allianzen eine gemeinsame Lok-Pool-Bildung zu vereinbaren. Stellt man im Fall eines Ressourcenkonfliktes eine Prioritätenregelung sicher, so sind entweder weniger Züge mit ETCS auszurüsten oder aber es stehen mehr Züge dem produktiven Betrieb zur Verfügung.

Dieses Gestaltungselement ist für die ETCS-Nachrüstung für Bestandsfahrzeuge interessant.

4.2.8 Bildung von Teilflotten

In vielen Fällen decken internationale Flotten mehrere Nachbarländer ab. Die Lokomotiven bzw. Triebzüge besitzen dabei für mehrere Nachbarländer die Zulassung. Entsteht aufgrund von infrastrukturellen ETCS-Ausbauten die ETCS-Ausrüstnotwendigkeit für einzelne Strecken, so kann eine Teilausrüstung der Flotte mit ETCS eine wirtschaftliche Lösung darstellen. Wird für den Verkehr, der eine ETCS-Ausrüstnotwendigkeit erfordert, nicht die komplette Flotte ver-

wendet, so kann die Flotte in begründeten Fällen in mehrere Teilflotten geteilt werden:

- Flottenteile mit und Flottenteile ohne ETCS
- ETCS-Flottenteile mit verschiedenen zeitlichen Ausrüstungszeithorizonten
- Flottenteile mit unterschiedlichen SRS-Versionen.

Ein wichtiger Aspekt ist die mögliche Erhöhung der Reservevorhaltung durch die Teilflottenbildung. Wird die Ausrüstungsreserve ebenfalls mit ETCS ausgerüstet, so entfällt eventuell die Vermehrung der Ausrüstreserve. Schwierig wird die Situation bei Splittung der verschiedenen Länderzulassung und keiner vollständigen Austauschbarkeit der Züge. Das Resultat ist eine Mehrung der Ausrüstungsreserve. Dies kann durch zusätzliche Lokomotiven beziehungsweise Triebzüge erfolgen. Im normalen Fall steht kein zusätzliches Material zur Verfügung, was eine Reduzierung des Verkehrs bedeutet. Auch ist die komplette Ausrüstung einer Flotte in Teilstufen bzw. durch Teilflottenbildung in vielen Fällen durch Verlust von Projektverzahnungen oder von Projekt-Know-How bei größeren Pausenzeiten zwischen den Ausrüstungsstufen teurer.

Gegenläufig zum Konzept der Teilflottenbildung ist das Konzept der Optimierung der Ausrüstungsreserve national. Werden mehrere internationale Teilflotten zusammengefasst und ausrüstungstechnisch wie zulassungstechnisch so gestaltet, dass diese große Flotte in alle entsprechenden Nachbarländer fahren kann, so ist die dafür vorzuhaltende Ausrüstungsreserve minimal klein. Die Größe der Ausrüstungsreserve wird direkt durch die tatsächliche Ausfallhäufigkeit und die Revisionszyklen der Flottenbaureihe bestimmt. Ansätze zur Flottenzusammenlegung werden bei dem DB Fernverkehr bereits für den Frankreich-, Belgien- und Niederlandenverkehr diskutiert und ansatzweise realisiert [BRE06].

Das endgültige Ziel sollte immer wieder die Zusammenführung der Flotte sein.

Die Teilflottenbildung ist besonders für die Nachrüstung von Bestandsfahrzeugen mit ETCS interessant.

Für Neufahrzeuge ist die Teilflottenbildung für die Ausrüstung mit STMs interessant.

4.2.9 Einfluss der SRS-Entwicklung

Die heutige ETCS-Landschaft zeigt ein heterogenes Bild:

- Es existiert ein Schweizer ETCS mit einem Vorläufer von ETCS-Limited Supervision, das zu keiner anderen ETCS-Version kompatibel ist.

- Es existiert ein ETCS der Korridor 2007 Gruppe, das kompatibel zur luxemburgischen SRS 2.2.2 ist und eine Interoperabilität zwischen den Bahnen Frankreichs, Belgiens, Luxemburgs und den Niederlanden herstellt. Die Interoperabilität zu der Variante, die auf den Grenzstrecken Saarbrücken und Aachen auf deutscher Seite eingesetzt wird, ist zurzeit noch in der Klärung.
- Das spanische ETCS ist eine SRS 2.2.0 Variante, die mit der zukünftig angestrebten Variante SRS 2.3.0 nicht kompatibel ist. Da es sich hierbei um keine grenzüberschreitende Strecke und keine im grenzüberschreitenden Verkehr eingesetzten Triebzüge handelt, werden keine Probleme erwartet.
- Das deutsche ETCS auf der Strecke Berlin-Leipzig ist eine Variante der SRS 2.2.2 Version und zu keiner anderen europäischen Version kompatibel.
- Die angestrebte Güterverkehrskorridor-Variante SRS 2.3.0 d plus Limited Supervision ist in Deutschland nur für ausländische ETCS-Fahrzeuge nutzbar, die diese Version Onboard besitzen.
- Die italienische Variante mit Radio Infill ist zurzeit nicht interoperabel. Das neue italienische, Balisen orientierte Class B-System SCMT ist nicht interoperabel im europäischen Sinne.
- Das in Schweden eingesetzte ERTMS-Regional ist nur in Schweden zu finden.

Erst ein Upgrade der Fahrzeuge auf die Variante 2.3.0 d sowie die Anpassung einzelner Strecken zur Erreichung einer Kompatibilität zu dieser Version 2.3.0 d lässt eine (zum Teil noch eingeschränkte) Interoperabilität zu. Nach der reinen Lehre wäre die SRS 3.0.0 die Variante, die alle Funktionen und Komfortmerkmale von ETCS miteinander vereint. Eine Individualprüfung aller bis dahin ausgerüsteten Fahrzeuge muss erfolgen, um eine Kompatibilität, sofern erforderlich, auch zu erreichen. Fahrzeuge, die nach wie vor auf den gleichen Strecken fahren können, bilden zusammen mit der zugehörigen Strecke eine ETCS-Insel, sofern kein fremdes Fahrzeug diese Strecken befahren möchte oder muss. Die Gestaltbarkeit beschränkt sich auf die Vertragsgestaltung bei der ETCS-Ausrüstung mit einem kostenlosen Upgrade für zukünftige interoperable SRS-Versionen. Vertragstechnisch sollte für den Status quo eine Herstellergarantie eingefordert werden, die die Systemverantwortung, dass das Fahrzeug mit den spezifizierten Strecken kompatibel ist, auf den Hersteller überträgt.

Dieses Gestaltungselement ist für die ETCS-Nachrüstung für Bestandsfahrzeuge oder für die Ausrüstung von Neufahrzeugen mit STM interessant.

4.2.10 Einflussnahme auf die Infrastrukturrückfallmöglichkeiten

Für den verkehrlichen Umgang mit Störungen auf der ETCS-Seite existieren auf der Infrastrukturseite mehrere Möglichkeiten eine Rückfallebene aufzubauen. Im Falle des Ausfalls der ETCS-Einrichtung wäre die einfachste, aber auch teuerste Rückfallebene das Vorhandensein des ursprünglichen Class B-Systems auf Strecke wie Fahrzeug. Eine andere Alternative der Rückfallebene auf einer reinen ETCS-Level 2-Strecke ohne Class B-System kann auch ein streckenseitiges ETCS-Level 1-System sein. Diese Rückfallebene kann auch aus Kostengründen so parametrisiert sein, dass es mit größeren Blockabständen oder aber nur ETCS-Level 1-Balisen ohne Signale ausgerüstet ist. Der daraus resultierende Kapazitätseinbruch wird in Kauf genommen, da das Rückfallsystem nur zum Räumen der Strecke angewendet wird. Dieses sehr komplexe Thema, das auch verbunden mit den Netzzugangskriterien ist, hat mannigfaltige Ausprägungsmöglichkeiten. Ziel sollte es sein, bilateral zwischen zwei Nachbarbahnen/-ländern oder aber im besten Fall europäisch eine Lösung zu finden, die auf der Fahrzeugseite auf den Verzicht von zusätzlichen Class B-Systemen bzw. STM hinausläuft. Dies vermeidet wieder die Notwendigkeit ETCS zusätzlich zu den existierenden Systemen an Board der Fahrzeuge vorzuhalten.

Dieses Gestaltungselement ist für die ETCS-Nachrüstung für Bestandsfahrzeuge oder für die Ausrüstung von Neufahrzeugen mit STMs interessant.

4.2.11 Einflussnahme auf den Rückbau der nationalen Zugbeeinflussungssysteme

Wird der harten CER Forderung [CER08]:

„Sofern ein Class B auf einer Strecke liegt,
darf ETCS kein Netzzugangskriterium sein“

bei der EU in Brüssel zugestimmt, muss ein Eisenbahnverkehrsunternehmen erst dann sein Fahrzeug mit ETCS ausrüsten, wenn der Infrastrukturbetreiber sein Class B-System zurückbaut. Zur Vermeidung von punktuellen Rückbauten sollte versucht werden zwischen dem Fahrzeughaltern und der Infrastruktur eine Synchronisierung zwischen dem Rückbau des Class B-Systems und der Ausrüstung der Fahrzeuge mit ETCS zu erreichen.

Handelt es sich um kurze Teilstücke und nur kurze Zeithorizonte, so ist es durchaus in Betracht zu ziehen, die Kosten für den weiteren Betrieb des Class B-Systems auf der Infrastruktur durch das EVU zu übernehmen.

Dieses Gestaltungselement ist für die ETCS-Nachrüstung für Bestandsfahrzeuge interessant.

4.2.12 ETCS-Ontop-Installation

Eine Variante ist eine Ontop- oder Parallelinstallation von ETCS im Fahrzeug. Dabei erfolgt keine technische Integration des EVC und des DMI in das Fahrzeug und die existierenden Zugbeeinflussungssysteme. Lediglich der Durchgriff auf die Bremswirkgruppe wird in dieser Variante durch ETCS sichergestellt. Die existierenden Zugbeeinflussungssysteme arbeiten wie bisher parallel. Dieser Fall eignet sich dort, wo enge zeitliche Restriktionen für die Verfügbarkeit eines ETCS-Fahrzeuges bestehen. Es kann sich auch dort anbieten, wo sich der ETCS-Infrastrukturausbau noch nicht in einer stabilen Phase befindet.

Diese mit Sonderzulassung verbundene zeitlich befristete Lösung basiert auf der Philosophie von zwei gleichzeitig aktiven Zugbeeinflussungssystemen. Jedes für sich beeinflusst den Zug in dem Fall, in dem das jeweilige Pendant auf der Strecke vorhanden ist. In dem Fall, in dem infrastrukturseitig beide Systeme vorgehalten werden, ist eine Infrastrukturanpassung in Form von zusätzlichen Prioritätsbalisen notwendig, die auch Absprachen mit den Infrastrukturbetreibern in Bezug auf zusätzliche Kosten, Abnahmen, Genehmigungen etc. erfordert. Diese zeitlich beschränkte Möglichkeit kann nur für wenige Fahrzeuge eine Lösung darstellen.

Dieses Gestaltungselement ist für die ETCS-Nachrüstung für Bestandsfahrzeuge interessant.

4.2.13 Element Trassenpreis

Ein Faktor für die Wirtschaftlichkeit des Verkehrs ist der Trassenpreis. Dieser wird unter anderem durch den Faktor der Infrastrukturinvestitionen auf der Strecke beeinflusst. Objektiv vergrößert sich der Faktor, wenn beispielsweise ETCS zusätzlich zu den bestehenden Zugbeeinflussungssystemen auf der Infrastrukturseite ausgerüstet wird. Dies ist kontraproduktiv zu dem europäischen Gedanken, durch ETCS den Verkehr wirtschaftlicher zu gestalten. Hinzu kommt, dass auch auf der Fahrzeugseite ETCS zusätzlich zu den existierenden Zugbeeinflussungssystemen eingerüstet wird. So schlagen die Kosten für ETCS zweimal negativ zu Buch.

Als Szenario ist denkbar, auf der Infrastrukturseite Strecken nur mit ETCS auszurüsten und auf diesen Strecken den Trassenpreis entsprechend zu reduzieren, um einen Anreiz zu bieten, diese Strecke mit nur ETCS-Fahrzeugen zu befahren. Wird dieser Ansatz mit einer kompletten ETCS-Strecken- bzw. Korridor-ausrüstung kombiniert, so können dort auch reine ETCS-Fahrzeuge verkehren. Damit lässt sich auf Fahrzeug- wie Infrastrukturseite ein positiver Effekt erzielen.

Dieses Gestaltungselement ist für die ETCS-Nachrüstung für Bestandsfahrzeuge oder für die Ausrüstung von Neufahrzeugen mit STMs interessant.

4.2.14 Einflussnahme auf die GSM-R-Migration

Der GSM-R-Ausbau in den einzelnen Ländern schreitet europäisch unkoordiniert voran. Der flächendeckende GSM-R-Ausbau ist das Fernziel für alle Eisenbahnnetze. Gesteuert wird der Ausbau auch hier durch die zur Verfügung stehenden Investitionsmittel auf der Infrastruktur- wie auf der Fahrzeugseite. Der Zustand der existierenden Zugfunksysteme wird in die Investitionsentscheidung mit einbezogen.

Ist für den ETCS-Level 1-Betrieb ein GSM-R-Netz nicht notwendig, so ist es spätestens bei dem Einsatz von ETCS-Level 2/3 GSM-R-Voraussetzung. Gerade auf der Fahrzeugseite ist eine GSM-R-Ausrüstung notwendig, wenn das Fahrzeug in einem Netz unterwegs sein soll, das auf ETCS-Level 2 und/oder auf GSM-R umgestellt hat. Hier besteht für ein EVU nur die Möglichkeit sich auf die GSM-R-Situation einzustellen oder auf den Verkehr zu verzichten.

Dieses Gestaltungselement ist für die ETCS-Nachrüstung für Bestandsfahrzeuge oder für die Ausrüstung von Neufahrzeugen mit STM interessant.

4.2.15 Verzicht auf nationale Class B-Systemen bei neuen Zügen

Einer der großen Kostenfaktoren bei der Anschaffung von neuen Fahrzeugen und Triebfahrzeugen ist die Anzahl der nationalen Zugsicherungssysteme, der Class B-Systeme, die in international verkehrenden Fahrzeugen eingebaut werden müssen. Werden die einzelnen ETCS-Migrationspläne aufeinandergelegt, stellt man schnell fest, dass gerade für den internationalen Personenverkehr, der systembedingt in den meisten Fällen einen Metropolenverkehr darstellt, immer wieder ETCS-Lücken auf der Achse vorliegen. Um diese Lücken zu schliessen, muss der Infrastrukturbetreiber des nationalen Landes überzeugt werden, dort ETCS einzubauen. Für diese Diskussion sind folgende Argumente und Sachstände hilfreich:

- Es existiert für dieses Infrastrukturstück eine preiswerte ETCS-Lösung ohne eine (größere) Anpassung der existierenden Leit- und Sicherungstechnik, z.B. ETCS-L1LS.
- Es wird in einer Übergangsphase, in der die Umleitungsstrecken noch nicht mit ETCS ausgerüstet sind, akzeptiert, dass ein havariertes Fahrzeug aus der ETCS-Strecke abgeschleppt wird.
- Die ETCS-Streckenausrüstung reicht bis in den Bahnhof bzw. Wendebereich des Zuges.
- Es besteht die Bereitschaft des EVU, sich an der Finanzierung der ETCS-Ausrüstung im Ausland zu beteiligen.

Geht der Infrastrukturbetreiber einen dieser Wege mit, kann das Class B-System für diese Route auf dieser Flotte bzw. Teilflotte entfallen. Gleich drei Effekte generieren sich daraus für den Fahrzeughalter und -betreiber:

- Investitionskosteneinsparung für das Class B-System
- Wartungs- und Instandhaltungseinsparung für das Class B-System
- Schulungseinsparung für den Triebfahrzeugführer für das Class B-System

Stellt man auf EVU-Seite die Flottenkosten für ein zusätzliches Class B-System bzw. STM einer Low-Cost-ETCS-Ausrüstung auf Infrastrukturseite, zum Beispiel ETCS-L1LS, gegenüber, so kann sich eine Finanzierung von Teilen der Infrastrukturausbauten auf Kosten der EVU als wirtschaftlicher erweisen als der Einbau von Class B-Systemen in die neue Flotte. Diese Überlegung ist vor allem für neue Fahrzeuginvestitionen sinnvoll.

4.2.16 Klassifizierung der Gestaltungselemente für Bestands- und Neufahrzeuge

Nicht jedes Gestaltungselement ist gleichgut für die Betrachtung der Situation von Bestandsfahrzeugen sowie für die Entscheidungsfindung bei Neufahrzeugen geeignet. Die nachstehende Tabelle 4 gibt eine Übersicht der hauptsächlichen Anwendungsgebiete der Gestaltungselemente. In dieser Tabelle wurden auch diese Elemente gekennzeichnet, die eine Rückwirkung auf die Infrastruktur aufweisen.

Gestaltungselement	Einsatz für Bestandsfahrzeuge	Einsatz für Neufahrzeuge	Beteiligung der Infrastruktur notwendig	Bewertung des Elements
Kein Verkehr	X	X		Der Verzicht auf den Verkehr einer Strecke, die ETCS erfordert, ist eines der einfachsten aber auch das einschneidendste Element einer Migrationsstrategie. Der Einsatz dieses Elements in der Langfriststrategie, bei der immer mehr Strecken ETCS verlangen, führt dies über den langfristigen Zeitraum zum Einstellen des Verkehrs. Als kurzfristige Übergangszeit ist es durchaus verwendbar um Zeiten bis zur Ausrüstung der Lokomotiven/Baureihen zu überbrücken.
Fremde Loks mit ETCS-Ausrüstung mieten	X	X		Dieses Element ist für eine Übergangszeit sinnvoll einsetzbar bis die eigenen Lokomotiven mit ETCS ausgerüstet sind oder der Verkehr nur für eine absehbare Zeit durchgeführt werden soll. Als Langfristperspektive wird die Wirtschaftlichkeitsrechnung von diesem Gestaltungselement wegführen.
Verlegung der Streckenrouten	X	X		Dieses Element ist für Bestandsfahrzeug ein durchaus attraktives Element, wenn damit bis an das Lebensende dieser Fahrzeugflotte eine Ausrüstung mit ETCS vermieden werden kann. Für neue Fahrzeuge kann dies ein Weg sein, wenn die Fahrzeuge erst zu einem späteren Zeitpunkt mit ETCS ausgerüstet werden sollen. In jedem Fall bedeutet es eine Veränderung des Produktionskonzeptes. Das Produktionskonzept ist von vielen weiteren Faktoren abhängig und deswegen ist der Einsatz dieses Gestaltungselementes sorgfältig abzuwägen.

Gestaltungselement	Einsatz für Bestandsfahrzeuge	Einsatz für Neufahrzeuge	Beteiligung der Infrastruktur notwendig	Bewertung des Elements
Einfluss auf den ETCS-Ausrüstungszeitpunkt der Strecke	X	X	X	Dieses aufgrund der Diskriminierungsfreiheit vorsichtig einzusetzende Element kann eine Optimierung des Ausrüstungszeitpunktes der Fahrzeuge ergeben. Dabei kann eine Beschleunigung aber auch eine Verschiebung nach hinten die Wirtschaftlichkeit des Eisenbahnverkehrsunternehmens verbessern. Allerdings hat nicht jedes Eisenbahnverkehrsunternehmen die Macht, Entscheidungen von Infrastrukturunternehmen zu beeinflussen.
Einfluss auf die ETCS-Migration der Infrastruktur	X	X	X	Dieses Element basiert auf der Möglichkeit Einfluss auf die ETCS-Migration des Infrastrukturunternehmens zu nehmen. Einfluss auf Zeitpunkt, SRS-Version, ETCS-Level oder Zusatzfunktionen, die die Wirtschaftlichkeit der Onboard-Lösung oder des Zeitpunktes beeinflussen, können das Unternehmensergebnis verbessern.
Minimierung der Anzahl der STM-Onboard		X		Für Neufahrzeuge ist bei der Beschaffung und der Zulassung für die Nachbarländer ein Ziel zur Kosteneinsparung so wenig wie möglich STMs einbauen zu müssen. Dies ist durch mehrere Elemente möglich: Die Einsatzgebiete werden entsprechend reduziert, die Infrastruktur des Nachbarlandes wird mit ETCS ausgerüstet (finanziert durch den Infrastrukturbetreiber des Nachbarlandes oder, sofern immer noch wirtschaftlich, durch das eigene EVU.) Das Einsatzgebiet wird erst dann auf das Nachbarland ausgedehnt, wenn dort ETCS liegt.

Gestaltungselement	Einsatz für Bestandsfahrzeuge	Einsatz für Neufahrzeuge	Beteiligung der Infrastruktur notwendig	Bewertung des Elements
Lok-Poolbildung einer internationalen Ausrüstungsreserve	X			Das Element kann einen wirtschaftlichen Beitrag leisten um bei Teilflotten der Bestandsfahrzeuge die Anzahl der Reservezüge, die zum kontinuierlichen Betrieb erforderlich sind, zu minimieren. Auf Basis von zu schließenden Kooperationen von EVU, die die gleichen Linien bedienen, können sich diese Betreiber gegenseitig mit Reservefahrzeugen aushelfen.
Bildung von Teilflotten	X	X		Entgegen der Gleichteilestrategie und der technisch gleich ausgestatteten Gesamtflotte kann es wirtschaftlich sein, nur einen Teil der Flotte mit ETCS auszurüsten. Eine Erhöhung der Reservefahrzeuge ist damit verbunden.
Einfluss auf die SRS-Ausrüstung der Fahrzeuge	X			Aufgrund der Hochrüstkosten von einer SRS auf die nächst höhere Version kann die Prüfung der infrastrukturseitig eingesetzten SRS in dem dedizierten Einsatzgebiet sowie eine darauf aufbauende Abstimmung zwischen Fahrzeug und Strecken seitiger SRS-Version ein wirtschaftlichen Effekt bringen.
Einflussnahme auf die Infrastrukturrückfallmöglichkeiten	X	X	X	Eine genaue Betrachtung der Rückfallebenen für den Betrieb bei Ausfall des ETCS oder bei Fahrt auf Umleitungsstrecken ohne das erforderliche Class B-System kann zu Kosteneinsparungen führen. Wenige, zusätzliche Streckenelemente oder Anpassungen der Betriebsregeln können auch einen Betrieb ermöglichen ohne dass auf dem Fahrzeug das Class B-System vorhanden sein muss oder dass auch eine reine ETCS-Strecke ohne zusätzliche weitere Rückfallebenen befahren werden kann (Class B-System als Rückfallebene, Level 1 als Rückfallebene für Level 2, ...).

Gestaltungselement	Einsatz für Bestandsfahrzeuge	Einsatz für Neufahrzeuge	Beteiligung der Infrastruktur notwendig	Bewertung des Elements
Einflussnahme auf den Rückbau der Class B-Systeme auf Infrastrukturseite	X	X	X	Bedingt eine Verschiebung des Rückbaus des Class B-Systemes auf der Infrastruktur eine Verschiebung der ETCS-Ausrüstnotwendigkeit des Fahrzeuges nach hinten, so ergibt sich allein aus der Kapitalwertbetrachtung daraus ein wirtschaftlicher Effekt. Kann aufgrund der Verschiebung auf eine Ausrüstung vor Ende der Lebenszeit der Lokomotive verzichtet werden, kann dies insgesamt zu einem wirtschaftlichen Ergebnis führen.
ETCS-Ontop-Installation	X			In Bestandsfahrzeugen ist die Vollintegration des ETCS in das Fahrzeug und die darauf folgende Wiederzulassung ein entscheidender Zeitfaktor. Entsteht eine ETCS-Ausrüstung zu einem früheren Zeitpunkt als mit Vollintegration erreicht werden kann, so ist eine schnellere ETCS-Ontop-Installation in das Fahrzeug ohne Vollintegration möglich. Dies setzt voraus, dass das Fahrzeug nachträglich in absehbarer Zeit eine Vollintegration erhalten muss um die TSI-Konformität herzustellen und die endgültige Zulassung zu erlangen. Die frühere Betriebsaufnahme ist in der Wirtschaftlichkeitsrechnung den zusätzlich Upgrade-Kosten gegenüber zu stellen.
Durchsetzung einer Trassenpreisreduktion bei ETCS geführten Fahrzeugen	X	X	X	Einsparungen auf der Infrastrukturseite aufgrund fehlender Signale und Gleismittel führen abschnittsweise zu geringeren Infrastrukturkosten. Das Ziel ist diese Einsparungen durch geringere Trassenpreise an die EVU weiterzugeben. Eine höhere Akzeptanz für reine ETCS-Strecken und dadurch das Entstehen von ETCS-Ausrüstnotwendigkeiten kann dadurch bei einer indirekten Übernahme der Implementierungskosten den EVU erreicht werden.

Gestaltungselement	Einsatz für Bestandsfahrzeuge	Einsatz für Neufahrzeuge	Beteiligung der Infrastruktur notwendig	Bewertung des Elements
Einflussnahme auf die GSM-R-Migration	X	X	X	Das Vorhanden sein von GSM-R mit entsprechender Dienstgüte QoS ist Grundvoraussetzung für den Einsatz von ETCS-Level 2. Ein ständiger Wechsel von ETCS-L1 zu Level 2 mit den jeweiligen unterschiedlichen Betriebsverfahren ist eine zu vermeidende Belastung für den Triebfahrzeugführer. Ein durchgehender Ausbau von GSM-R und damit ein durchgehender Ausbau von ETCS-Level 2 ist die ideale Lösung.
Verzicht auf nationale Systemen in neuen Zügen		X		Bei Neufahrzeugen macht ein hoher Anteil der Kosten die Anzahl der nationalen Zugbeeinflussungssysteme aus. Eine Minimierung dieser Anzahl ist nur im Zusammenhang mit den anderen Elementen wie Infrastrukturausbau, Routenumlegung, Verzicht auf Verkehr etc. möglich. Bei Bestandsfahrzeugen sind für den bisherigen Verkehr die entsprechenden nationalen Zugbeeinflussungssysteme an Board. Diese werden nicht wieder ausgebaut.

Tabelle 4 Klassifizierung der Gestaltungselemente für Bestands- und Bedarfsfahrzeuge

4.2.17 Differenzierung der Hebel nach gestaltbaren und nicht gestaltbaren Elementen

Aus Sicht eines Eisenbahnverkehrsunternehmens (EVU) teilen sich die Hebel zur Beeinflussung der ETCS-Migration zusätzlich in direkt durch die EVU direkt gestaltbaren Elemente und die indirekt gestaltbaren Elemente durch Einflussnahme auf Dritte.

Direkt gestaltbare Elemente der Implementierungsstrategie	Bewertung
Kein Verkehr oder Verkehr mit ETCS	Das EVU kann auf Verkehr verzichten, wenn dieser nur mit ETCS ausgerüsteten Lokomotiven durchgeführt werden kann. Die Wirtschaftlichkeitsrechnung für diese Entscheidung muss dabei unter anderem den Verlust des Verkehrs, den Imageverlust und den Widerstand der Passagiere gegen Umsteigen gegenüber der Investition in die Fahrzeuge berücksichtigen.
Lok-Pool-Bildung für ETCS und nicht-ETCS-Fahrzeuge, für nationalen ETCS- und nicht-ETCS-Verkehr	Das EVU kann eine Flottendifferenzierung durchführen und nur den Anteil an Lokomotiven mit ETCS ausrüsten, der auf nationalen Strecken mit ETCS-Notwendigkeit unterwegs ist. Dies minimiert die Anzahl der auszurüstenden Lokomotiven.
Internationale Lok-Pool-Bildung	Das EVU kann mit anderen EVU einen Lok-Pool von ETCS-Lokomotiven bilden um Verkehr auf reinen ETCS-Strecken durchzuführen. Dies minimiert die Ausrüstung eigener Fahrzeuge mit ETCS.
Einbau von Zugbeeinflussungssystemen auf der Infrastrukturseite mit Mitteln der EVU zur Optimierung der Anzahl der On-board-Zugbeeinflussungssysteme	Die Finanzierung von zusätzlichen Infrastruktureinrichtungen vermeidet auf der Fahrzeugseite Ausrüstungskosten für Class A- oder Class B-Systeme. Eine Wirtschaftlichkeitsrechnung muss nachweisen, ob die Ausrüstung auf Infrastruktur oder die Investition auf Fahrzeugseite wirtschaftlicher ist.

Direkt gestaltbare Elemente der Implementierungsstrategie	Bewertung
Integriertes oder Ontop-ETCS-Gerät	Besteht die Notwendigkeit eines zeitnahen Einsatzes von ETCS-Lokomotiven, die mit einer normalen Ausrüst- und Integrationszeit nicht mehr erreicht werden kann, so kann übergangsweise ETCS parallel zu den existierenden Zugbeeinflussungssystemen eingebaut werden. Infrastrukturtechnische und Zulassungsfragen müssen dabei vorab geklärt werden. Die frühe Verkehrsaufnahme muss in der Wirtschaftlichkeitsrechnung die Mehrkosten für die zweifache Installation im Fahrzeug (zuerst parallel und danach als Vollintegration) tragen.
ETCS-Betriebsregeln	Durch den vorübergehenden Verzicht auf einzelne Funktionen bei der Fahrt unter ETCS sind teure Sonderlösungen wie z.B. Hotstandby oder spezielle Rückfallebenen vermeidbar.
STM-Philosophie	Die Einflussnahme auf die Integration des ETCS in ein existierendes Fahrzeug mit den existierenden Class B-Systemen kann einen großen Kostenblock darstellen. Die Einbindung existierender Systeme sind dabei kostentechnisch gegenüber dem Ersatz mit STMs zu bewerten.
Steuerung der Ausrüstungsreserve über mehrere ETCS-Bereiche	Der Einsatz von ETCS-Lokomotiven in mehreren Einsatzgebieten kann die Anzahl der notwendigen ETCS-Lokomotiven übergangsweise reduzieren. Ein erhöhter dispositiver Aufwand ist dabei unabdingbar.
Mieten statt Ausrüsten eigener Fahrzeuge	Das EVU kann zur Überbrückung mit ETCS ausgerüstete Lokomotiven mieten. Es erspart sich zum derzeitigen Zeitpunkt die ETCS-Ausrüstung. In der Wirtschaftlichkeitsbewertung stehen die Mietkosten den entstehenden Ausrüstungskosten gegenüber.

Direkt gestaltbare Elemente der Implementierungsstrategie	Bewertung
Verlegung der Streckenführung	Das EVU kann die Streckenführung seines Verkehrs gemäß der Geschäftsphilosophie festlegen. Ein Aspekt dabei ist die Durchführung von wirtschaftlichem Verkehr. Dies spart die Ausrüstung von Lokomotiven mit ETCS oder verlegt sie auf einem späteren Zeitpunkt.

Tabelle 5 Direkt gestaltbare Elemente der EVU-Migrationseinflussfaktoren

Indirekt gestaltbare Elemente der Implementierungsstrategie	Bewertung
Einfluss auf die Migration der ETCS-Infrastruktur	Durch Korridoransätze oder Zellen mit singulären Zugbeeinflussungssystemen können Flotten eingesetzt werden, die daraufhin optimiert wurden. Dies spart Zugbeeinflussungssysteme an Board.
GSM-R-Infrastrukturausbau	Ein EVU kann versuchen den GSM-R Infrastrukturausbau, der unter anderem für den gewählten ETCS-Level entscheidend ist, unter Berücksichtigung der Diskriminierungsfreiheit bei dem Netzbetreiber zu beeinflussen. Durch den Einsatz von GSM-R lässt sich die elektrische Sicht unter Level 1 Radio Infill oder dem Einsatz von Level 2 und 3 vergrößern. Dies führt zu einer flüssigeren, energiesparenden Fahrweise und vermindert den Bremseinsatz.

Indirekt gestaltbare Elemente der Implementierungsstrategie	Bewertung
SRS-Weiterentwicklung	Basierend auf der Tatsache, dass das Fahrzeug immer die höchste SRS-Version der zu befahrenden Strecken erhalten muss, ist an einer anforderungsgerechte Entwicklung und SRS-Weiterentwicklung hinzuwirken. Das Ziel ist die Anzahl der Updates für die Fahrzeuge so gering wie möglich zu halten.
Zeitpunkt des ETCS-Infrastrukturausbaus	Ein entscheidender Punkt für die Wirtschaftlichkeit der ETCS-Implementierung in die Fahrzeuge ist der Zeitpunkt, zu dem eine ETCS-Ausrüstnotwendigkeit durch die Infrastruktur entsteht. Eine Anpassung der Infrastrukturausbauzeitpunkte an die wirtschaftlichen Interessen der EVU kann einen positiven Effekt bringen.
Rückfallebenen der Infrastruktur	Die Ausprägung der Infrastrukturrückfallebene bei Ausfall von ETCS hat erheblichen Einfluss auf die Implementierungslösung und damit die Implementierungskosten im Fahrzeug. Eine abgestimmte Rückfallebene kann zusätzlich die betrieblichen Konsequenzen im Rückfallmodus erheblich minimieren.
Rückbau der Class B-Systeme	Der Rückbau des Class B-Systems bei dem Verbleib des ETCS auf der Infrastrukturseite führt zu einer ETCS-Ausrüstnotwendigkeit der Fahrzeuge. Ist diese Strecke zeitlich bestimmend für den Zeitpunkt der ETCS-Ausrüstnotwendigkeit, so ist das Erreichen einer Verschiebung durch den Infrastrukturbetreiber nach hinten aus Kapitalkostensicht immer günstig.

Indirekt gestaltbare Elemente der Implementierungsstrategie	Bewertung
Trassenpreisgestaltung für ETCS- und nicht-ETCS-Strecken	Eine Verursacher gerechte Trassenpreisgestaltung für Strecken, die nur mit ETCS ohne Signale ausgerüstet sind, kann für EVU ein Anreiz sein, seine Fahrzeuge früher oder überhaupt mit ETCS auszurüsten. Dieser Fall würde auf Fahrzeug- wie Infrastrukturseite Kostenpotentiale bieten: Weniger Infrastrukturkosten durch weniger Infrastruktur im Feld und bei den EVU niedriger Trassenpreis aufgrund verursachergerechte Zuschreibung der Trassenentgelte.

Tabelle 6 Indirekt gestaltbare Elemente der EVU-Migrationseinflussfaktoren

Jedes Element für sich ist immer nur als Teil des Ganzen zu sehen. Einzelne EVU haben unterschiedliche Kriterien für und individuelle Einflussmöglichkeiten auf die einzelnen Migrationselemente. Zum Beispiel kann der Einfluss auf die Migration der Infrastruktur für ein kleines privates EVU absolut ungestaltbar sein, während in einem großen integrierten Konzern wie in dem Schweizer Eisenbahnunternehmen SBB die Ansiedlung der Migration von Infrastruktur und Fahrzeugen in einem Ministerium eine zwischen Infrastruktur- und Fahrzeugseite abgestimmte Migration möglich macht. In Abhängigkeit der Randparameter und der Prämissen für die Migrationaufgabe sind einzelne Gestaltungselemente anwendbar und andere nicht. Einzelne Gestaltungselemente sind nur dann anzuwenden, wenn die beteiligten Stakeholder beeinflusst werden können.

4.3 Einflussmatrix und Wirkungsgefüge als Modellierungswerkzeug

Die im vorherigen Kapitel angesprochenen Gestaltungselemente der ETCS-Migration eines EVU, sind dabei als offene Liste zu betrachten. In Einzelsituationen ist die Menge der Elemente beliebig erweiterbar. Diese einzelnen Gestaltungselemente sind zur Erarbeitung eines optimalen Migrationsweges allerdings nicht alleine anwendbar. Eine Verwendung von vielen verschiedenen Elementen lässt aufgrund der Komplexität und Vernetztheit eine sinnvolle Bewertung und Steuerung des Gesamtsystems schwierig werden. Eine sinnvolle Steuerung eines komplexen Systems wird nur mit maximal 7 ± 2 Elementen als sinnvoll erachtet. Diese Faustregel wird auch als die „Siebener Regel“ bezeichnet.

net und gilt als generelle Regel für die Gestaltung von Orientierungs- und Navigationssystemen [PRE02].

In dieser Arbeit wurde erstmalig ein mehrstufiger Ansatz gewählt um aus den vorhandenen Gestaltungselementen die wichtigsten Elemente zu separieren.

Dabei besteht die Kunst darin aus der großen Anzahl von Elementen die Entscheidenden zu extrahieren, die auf der einen Seite bei Veränderung einen großen Einfluss auf die Ergebnisse haben und auf der anderen Seite als Messgröße zur Bewertung der Ergebnisse verwendet werden können. Zur Differenzierung der einzelnen Elemente untereinander wurden deswegen hier den einzelnen Elementen als erster Schritt zusätzliche Information zugefügt werden:

Die bestehenden Beziehungen und Rückwirkungen untereinander.

Für die Auswertung dieser zusätzlichen Information soll hier der ganzheitliche Ansatz von Einflussmatrix und Wirkungsgefüge nach dem Sensitivitätsmodell nach Prof. Vester® verwendet werden. Das Sensitivitätsmodell von Prof. Vester® ist ein professionelles und umfassendes Instrumentarium zur Erfassung, Analyse, Planung und Mediation komplexer Systeme in Management, Unternehmen, Verwaltung, Planung und Forschung [VES05]. Wie mit Hilfe dieser Methodik die entscheidenden Elemente für die Migration identifiziert werden können, wird in dieser Arbeit hergeleitet. Die Variation der entscheidenden Elemente kann dann gezielt zur Bestimmung des optimalen Migrationsweges eingesetzt werden.

4.3.1 Die Beschreibung der Einflussmatrix

Um die Einflüsse und Abhängigkeiten sichtbar zu machen und zu bewerten, wird in dieser Arbeit mit Hilfe der Einflussmatrix als erstes eine Gruppierung der Gestaltungselemente durchgeführt. In der Einflussmatrix werden die Beziehungen der Elemente untereinander in einer zweidimensionalen Matrix dargestellt. Die Erfassung der gegenseitigen Rückwirkungen wird durch das Auftragen der Elemente sowohl in den Zeilen wie auch in den Spalten der Tabelle 6 sichergestellt. Die Einflussmatrix erlaubt es, die Beziehungen der Gestaltungselemente zu einander zu definieren, zu ergänzen und zu hinterfragen. Sie zeigt auf, welche Größe im Netzwerk eher eine aktive, eine reaktive, eine kritische oder eine träge Rolle spielt. Die Einflussmatrix dient dabei als Grundlage zur Bestimmung der entscheidenden Elemente.

4.3.2 Das Ausfüllen der Einflussmatrix

Die Einflussmatrix ist die Basis für alle weiteren Betrachtungen. In diesem Zusammenhang ist es wichtig die Objektivität der Beziehungen zwischen den Gestaltungselementen sicherzustellen. Die Gestaltungselemente spiegeln Prämissen, Anforderungen, Mess- und Steuergrößen ebenso wieder wie strategische und produktionstechnische Möglichkeiten wieder. Verschiedenen Anspruchssteller und Stakeholder wirken in diesem Prozess der Bestimmung des optimalen Migrationsweges mit.

In einem Eisenbahnverkehrsunternehmen zählen zu den Stakeholdern des nationalen und internationalen Verkehrs und damit zu der Gruppe die von der ETCS-Thematik betroffen sind mindestens die folgenden Organisationseinheiten:

- Fahrzeugeinsatzplanung national
- Fahrzeugeinsatzplanung international
- Bauartverantwortung
- ETCS-Strategieabteilung
- Gremienvertretung
- Technikabteilung
- Infrastrukturplanung
- Controlling

Diese Organisationseinheiten haben alle unterschiedliche Blickwinkel auf die ETCS-Ausrüstungsstrategie. Das Kernziel für ein Unternehmen ist die Wirtschaftlichkeit. Die Wünsche und Ziele Verkehr durchzuführen und dem Passagier ein umfassendes Beförderungsangebot zu bieten sowie dem Transporteur eine für ihn sinnvolle und praktikable Transportlösung anzubieten führt unter anderem auf den Punkt von wirtschaftlichen Möglichkeiten den Verkehr zu gestalten. Die Wirtschaftlichkeit stellt in der Regel die Controllingabteilung sicher. Der Einsatzplanung und Strategie über die Fahrzeugplanung zusammen mit der Infrastrukturplanungsabteilung die die Infrastrukturanforderungen und -restriktionen den Fahranforderungen in Einklang bringt. Die technischen Abteilungen inklusive Werkstattplanung müssen sicherstellen, dass das rollende Material für den notwendigen Verkehr geeignet ist. In diesem Fall falls eine Strecke eine ETCS-Ausrüstnotwendigkeit bedingt, die Fahrzeuge für diese Strecke auch ETCS an Board haben.

Die ETCS-Strategieabteilung steuert unter anderem den Input aus den internationalen Gremien, aus den internationalen Entwicklungen zum Beispiel SRS-Entwicklung, den internationalen ETCS-Infrastrukturausbaukonzepten und die Abstimmungen mit den internationalen Betriebsregeln bei.

Aus allen diesen Blickwinkeln entstehen Aspekte die einen Einfluss auf die ETCS-Ausrüstungsstrategie der Fahrzeuge besitzen.

Im Rahmen von Diskussionen und Workshops unter Zuhilfenahme von Kreativitätsmethodiken wurde bei der DB Fernverkehr ein Katalog von 24 verschiedenen Gestaltungselementen herausgearbeitet.

4.3.3 Wichtung der Beziehungen untereinander innerhalb der Einflussmatrix

Zur Erstellung einer Einflussmatrix ist die Wirkung eines Elementes auf jeden anderen festzulegen. Um eine sinnvolle Gliederung zu erreichen, werden lediglich vier unterschiedliche Wirkungsintensitäten der Elemente untereinander definiert:

- 0 = keine Wirkung
- 1 = geringe Wirkung
- 2 = mittlere Wirkung
- 3 = starke Wirkung

Wiederum in Abstimmungsrunden wurden gemeinsam die Einflüsse jedes Gestaltungselementes auf das andere festgelegt und in einer Matrix zusammengefasst. Nur diese abgestimmte Matrix ist die Basis der weiteren Betrachtungen. Durch das Ausfüllen und den Abgleich dieser Matrix durch die verschiedenen Anspruchsgruppen und Stakeholder entsteht ein Bild der Beziehungen untereinander. Je mehr Stakeholder Ihren Blickwinkel darauf anwenden, desto präziser wird das Bild. Erst der Abgleich aller Ergebnisse führt dann zu einer auswertbaren Einflussmatrix.

Mit Hilfe dieser Wichtung entsteht ein Überblick über das Wirkungsgefüge der einzelnen Gestaltungselemente der Migrationsstrategie. In der Tabelle 6 ist das Ergebnis einer solchen Untersuchung nach dem erfolgtem Abgleich für die Elemente der ETCS-Ausrüststrategie des DB Fernverkehr exemplarisch dargestellt. Die Tabelle enthält in den Zeilen wie Spalten in gleicher Reihenfolge die Gestaltungselemente. Der Eintrag in der Tabelle enthält dabei die Wirkungsintensität des Elementes in der Zeile individuell auf alle anderen Elemente die spaltenorientiert sind. Deutlich wird bei dieser Art der Eintragung die Spiegelasymmetrie der Tabelle. So ist in den meisten Fällen die Beziehung beziehungsweise die Auswirkung von zwei Elementen in jede Richtung unterschiedlich.

Wirkung dieses Parameters auf



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Kein Verkehr nach ETCS-Ausrüstnotwendigkeit	x	0	1	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	0
2	Teil Lok-Pool-Bildung	0	x	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	2
3	Internationale Lok-Pool-Bildung	0	2	x	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	1
4	Finanzierung Infrastruktur TCS durch EVU	3	2	2	x	0	0	2	2	0	1	3	3	0	3	3	0	3	0	3	0	3	0	0
5	Integriertes oder Ontop-ETCS-Gerät	0	0	0	0	X	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	2
6	ETCS-Betriebsregeln	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	STM-Philosophie	0	0	0	0	2	2	x	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
8	Ausrüstungsreserve über mehrere ETCS-Bereiche	3	3	3	0	0	0	0	x	2	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2	0	2
9	Mieten statt Ausrüsten eigener Fahrzeuge	2	2	2	0	0	0	0	2	x	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	2	2
10	Verlegung der Streckenführung	0	0	0	0	0	0	1	1	X	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	3	2	0
11	Zeitpunkt ETCS-Ausbau der Infrastruktur	3	3	3	0	0	0	0	0	1	x	3	0	0	2	0	3	0	3	0	0	2	2	0
12	Zeitpunkt GSM-R-Infrastrukturausbau	1	3	3	0	0	2	0	0	2	0	2	x	0	2	0	0	0	0	0	0	2	1	0
13	SRS-Weiterentwicklung	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	1	x	0	0	0	3	2	3	0	3	2	0
14	Rückfallebenen der Infrastruktur	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	x	1	0	0	0	0	0	1	0	0
15	Abbau der Class B-Systeme	3	2	2	2	0	2	1	1	1	2	3	3	0	2	x	2	3	0	3	0	3	2	0
16	Trassenpreisgestaltung für ETCS-Strecken	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	x	0	0	2	0	0	0	0
17	Zeitpunkt der Ausrüstnotwendigkeit	2	2	2	3	0	0	0	2	2	2	3	3	0	1	3	2	x	0	2	0	0	3	0
18	SRS-Update der Strecke	2	0	0	0	0	2	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	3	x	3	0	3	2	0
19	Kosten des ETCS-Einbaus	2	2	2	2	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	3	3	0
20	Anzahl der gleichzeitigen Züge in der Werkstatt	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	x	0	3	2	3
21	Zwischenzeitlicher SRS-Upgrade FZG	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	x	0	0	0
22	Beginn der Umrüstung	2	2	2	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	x	2	0
23	Kosten durch Verlust von Verkehr	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	x	0
24	Zeitdauer der Flottenumrüstung	0	2	2	1	2	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	3	3	1	X

Tabelle 7 Einflussmatrix der Gestaltungselemente

4.3.4 Bestimmung der Indizes aus der Einflussmatrix

Die Einflussmatrix für sich ist eine komplexe Darstellung der Bezüge der Elemente untereinander. Um daraus aber Handlungsprämissen und Alternativen ableiten zu können muss diese ausgewertet werden. Es bestehen mehrere Auswertemöglichkeiten der Einflussmatrix zur Bestimmung der entscheidungsrelevanten Elemente.

Der erste Schritt in dieser Auswertung ist die Bestimmung der Aktivität der einzelnen Elemente über die Aktivsumme. Wie aktiv beeinflusst jedes Element die anderen. Und im Gegenzug wie stark wird es von den anderen beeinflusst. Dies wird hier mit der Passivsumme ausgedrückt. Als Berechnungsgrundlage für die einzelnen Auswertungen wird dazu die Aktivsumme AS und die Passivsumme PS jedes einzelnen Elementes GE_i bestimmt:

$AS_i = \sum \text{Einzelwichtungen eines } GE_i \text{ je Zeile}$
--

Formel 5 Bestimmung der Aktivsumme

$PS_i = \sum \text{Einzelwichtungen eines } GE_i \text{ je Spalte}$

Formel 6 Bestimmung der Passivsumme

Durch diese Auswertung wird für jedes Element die individuelle Aktivität und den Grad der Beeinflussbarkeit identifiziert. Fasst man diese beiden Bewertungen in einem Index zusammen, so entsteht daraus der Aktiv-passiv Index (Q) nach folgender Formel.

Bestimmung des Aktiv-passiv-Indexes (Q) eines einzelnen Elements:

$\text{Aktiv-passiv-Index}(Q)_i = AS_i / PS_i * 100$
--

Formel 7 Aktiv-passiv-Index (Q)

Aufgrund der Ausgangsbasis mit der Aktivsumme im Zähler der Formel des Index ergibt sich für diesen Q-Indizes der einzelnen Elemente folgender Reihung:

Höchster Wert	=	aktivstes Element
Niedrigster Wert	=	reaktivstes Element

Für eine bessere Skalierung wurde der Index mit 100 multipliziert um einen Wertebereich größer eins darstellen zu können.

In der Tabelle 8 werden die 24 Elemente der Einflussmatrix nach dem Aktiv-passiv-Index Q, sortiert mit absteigender Wichtung dargestellt.

Nr.	Elemente sortiert nach dem Aktiv-passiv Index (Q)	
13	SRS-Weiterentwicklung	N/A ^{*)}
18	SRS-Update der Strecke	950
4	Finanzierung Infrastruktur TCS durch EVU	413
15	Abbau der Class B-Systeme	411
20	Anzahl gleichzeitigen Züge in der Werkstatt	325
5	Integriertes oder Ontop-ETCS-Gerät	200
11	Zeitpunkt ETCS-Infrastrukturausbau	192
17	Zeitpunkt der Ausrüstnotwendigkeit	188
24	Zeitdauer der Flottenumrüstung	183
12	Zeitpunkt GSM-R-Infrastrukturausbau	138
8	Ausrüstungsreserve über mehrere ETCS-Bereiche	125
14	Rückfallebenen der Infrastruktur	100
16	Trassenpreisgestaltung für ETCS-Strecken	100
9	Mieten statt Ausrüsten eigener Fahrzeuge	90
7	STM-Philosophie	80
1	Kein Verkehr nach ETCS-Ausrüstnotwendigkeit	52
10	Verlegung der Streckenführung	48
22	Beginn der Umrüstung	45
19	Kosten des ETCS-Einbaus	43
21	Zwischenzeitlicher SRS-Upgrade FZG	36
2	Teil Lok-Pool-Bildung	35
3	Internationale Lok-Pool-Bildung	31
23	Kosten durch Verlust von Verkehr	30
6	ETCS-Betriebsregeln	0

Tabelle 8 Aktiv-passiver-Index (Q)

* N/A nicht berechenbar.

Fünf Elemente mit sehr hohem Aktiv-Passiv Index sind dabei herausragend, während die anderen sich im unteren Bereich bewegen. Als aktivste Elemente mit dem höchsten Einfluss auf die anderen Elemente und damit auf den Migrationsweg ergeben sich nach dieser Auswertung:

- SRS-Weiterentwicklung
- SRS-Update der Strecke
- Finanzierung der Zugbeeinflussung auf Infrastrukturseite durch das EVU
- Abbau des Class B-Systemes
- Anzahl der Züge die gleichzeitig in der Werkstatt umgerüstet werden

Die nächste Auswertung bezieht sich auf die Bestimmung des Verhaltens im Gesamtsystems: Das kritische bzw. puffernde Verhalten bei Anwendung des entsprechenden Elementes. Veränderungen dieser Elemente können auf der einen Seite dazu führen, das das System chaotisch unberechenbare Reaktionen zeigt, zum anderen, das das Gesamtsystem extrem unempfindlich gegenüber anderen Einflüssen wird und auch dadurch unsteuerbar.

Zur Bestimmung des Index werden dabei wieder die bereits errechneten Aktiv- und Passivsumme für jedes individuellen Elementes GE_i verwendet. Dabei ist es nicht notwendig den Index weiter zu skalieren, da jeder Index eines Elementes die Werte 0, 1 oder eine ganze Zahl größer 1 annimmt.

Die Bestimmung der zweiten Reihe basiert auf der Errechnung des kritisch-puffernden-Index (P) für jedes individuelle Element nach der Formel 8.

$\text{Kritisch-puffernder-Index } (P)_i = AS_i * PS_i$

Formel 8 Kritisch-puffernder-Index (P)

Die Reihung der Elemente sortiert nach dem P-Index verläuft nach folgender Wertung:

Höchster Wert	=	höchst kritisches Element
Niedrigster Wert	=	maximal pufferndes Element

Die Auswertung der oben angesetzten Einflussmatrix führt zu dem detaillierten Ergebnis, das tabellarisch in der Tabelle 9 dargestellt ist.

Nr.	Elemente sortiert nach dem Kritisch-puffernden Index (P)	
19	Kosten des ETCS-Einbaus	940
22	Beginn der Umrüstung	720
17	Zeitpunkt der Ausrüstnotwendigkeit	544
9	Mieten statt Ausrüsten eigener Fahrzeuge	360
15	Abbau der Class B-Systeme	333
11	Zeitpunkt ETCS-Infrastrukturausbau	325
8	Ausrüstungsreserve über mehrere ETCS-Bereiche	320
1	Kein Verkehr nach ETCS-Ausrüstnotwendigkeit	276
4	Finanzierung Infrastruktur TCS durch EVU	264
24	Zeitdauer der Flottenumrüstung	264
10	Verlegung der Streckenführung	253
2	Teil Lok-Pool-Bildung	234
12	Zeitpunkt GSM-R-Infrastrukturausbau	234
3	Internationale Lok-Pool-Bildung	208
23	Kosten durch Verlust von Verkehr	120
7	STM-Philosophie	80
5	Integriertes oder Ontop-ETCS-Gerät	72
14	Rückfallebenen der Infrastruktur	64
20	Anzahl gleichzeitigen Züge in der Werkstatt	52
21	Zwischenzeitlicher SRS-Upgrade FZG	44
18	SRS-Update der Strecke	38
16	Trassenpreisgestaltung für ETCS-Strecken	16
6	ETCS-Betriebsregeln	0
13	SRS-Weiterentwicklung	0

Tabelle 9 Kritisch-puffernder-Index (P)

Die Einzelauswertung ergibt für die kritischsten Elemente der Migrationsstrategie für ein EVU mit Abstand die Elemente:

- Kosten der Umrüstung
- Zeitpunkt der Umrüstung
- Zeitpunkt der ETCS-Ausrüstnotwendigkeit.

Interessant ist, dass die aktivsten Elemente nicht zugleich auch die kritischsten Elemente darstellen. Als dritter Schritt fehlt zur Bestimmung der wichtigsten Elemente noch eine Kombination beider Informationen. Der pragmatische Ansatz der zweidimensionalen Bereichseinordnung nach der Vester®-Methode wurde hier angewendet um erstmalig diese Kombination zu erhalten. Aus der gewonnenen Information der Aktivität und der kritischen Wirkung auf das Gesamtsystem eine übergeordnet Zuordnung zu den wichtigsten Mess- und Steuergrößen zu erhalten, wurden die beiden, für jedes Element errechneten, Grö-

ßen paarweise zugeordnet und zweidimensional dargestellt. Dadurch erfolgt eine anschauliche Bereichseinordnung der Elemente nach der Vester®-Methode.

4.3.5 Bereichseinordnung der Elemente

Elemente, die mit einem Wertepaar, bestehend aus dem Aktiv-passiv und dem kritisch-puffernden Index, zweidimensional dargestellt werden, lassen sich mit Hilfe der Vester®-Methode in die folgenden Bereiche einordnen:

- aktive Elemente
- passive Elemente
- reaktive Elemente
- kritische Elemente
- neutrale Elemente

Die einzeln ausgewerteten Elemente werden dabei anschaulich anhand der Aktiv- und Passivsummen nach Beeinflussbarkeit und Einflussnahme aufgezeichnet und wie in Abbildung 37 verdeutlicht in einem xy-Diagramm dargestellt.

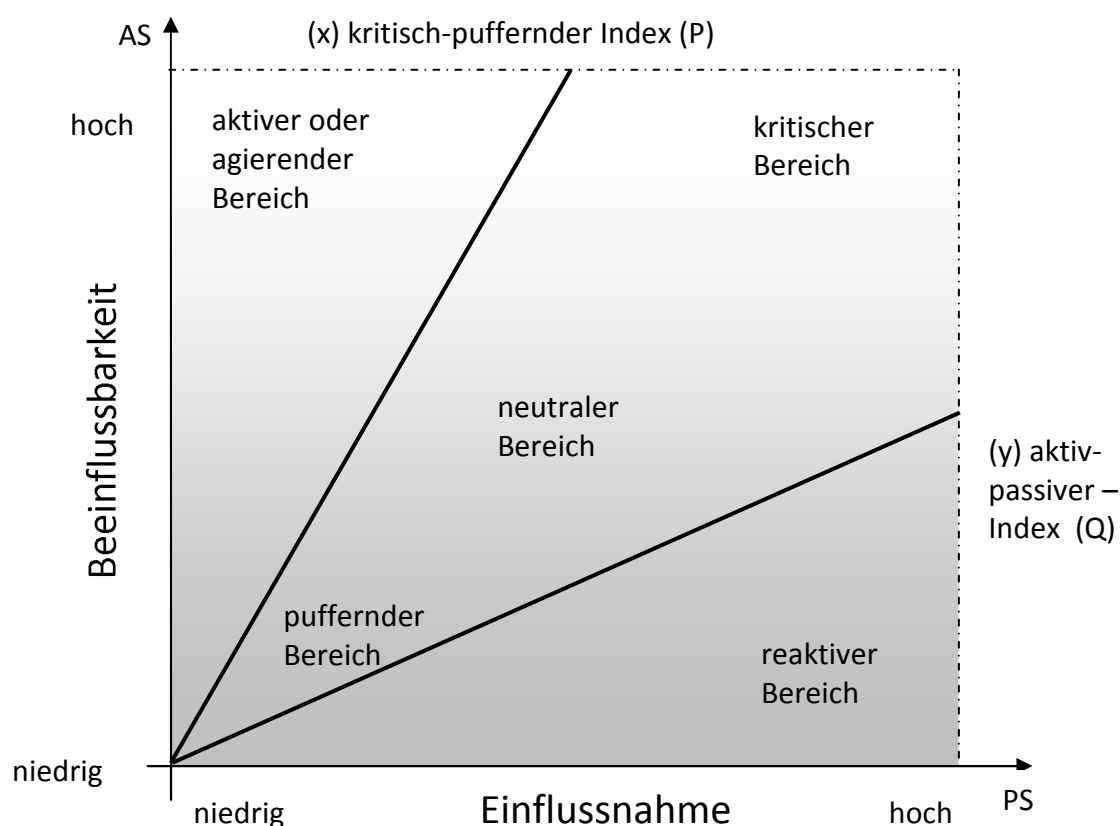


Abbildung 37 generisches Ergebnis der Auswertung der Einflussmatrix

Durch diese Einordnung können aus den einzelnen Elementen die Mess- und Einflussgrößen identifiziert werden.

4.3.5.1 Bewertung der Bereichseinordnung der Elemente

Die Einordnung der Elemente in die einzelnen Bereiche lassen sich wie folgt interpretieren:

Eingruppierung im aktiven Bereich

Von diesen Elementen gehen viele Wirkungen aus, werden aber selbst kaum von anderen Größen beeinflusst. Sie besitzen stabilisierende Wirkung.

Eingruppierung im reaktiven Bereich

Diese Elemente beeinflussen das System sehr schwach, werden jedoch von den übrigen Systemelementen stark beeinflusst. Sie sind optimale Indikatoren oder Messgrößen.

Eingruppierung im kritischen Bereich

Diese Elemente wirken stark auf andere Variablen, sind aber selbst leicht beeinflussbar. Aufschaukelungseffekte drohen bei Einsatz dieser Elemente für die Gestaltung der Migration.

Eingruppierung im puffernden Bereich

Diese Elemente beeinflussen die übrigen Elemente schwach und werden auch nur schwach beeinflusst. Sie bleiben auch bei starken Änderungen relativ konstant. Bei Veränderungen an diesen Elementen muss darauf geachtet werden, dass dies nicht nur zu einer reinen Symptombehandlung führt.

Eingruppierung im neutralen Bereich

Diese Elemente beeinflussen die anderen Elemente ebenso stark, wie sie auch selbst von den anderen Elementen beeinflusst werden.

4.4 Auswertung der realen Einflussmatrix der ETCS-Migration

In diesem Schritt werden die mit den Wertenpaaren ergänzten Gestaltungselemente der ETCS-Migration zweidimensional in einer Graphik nach dem Vester-Schema aufgetragen und in Abbildung 38 dargestellt. In der graphischen Auswertung der Abbildung 41 sind die dargestellten Elemente mit Ihrer Ordnungsnummer aus Tabelle 9 referenziert.

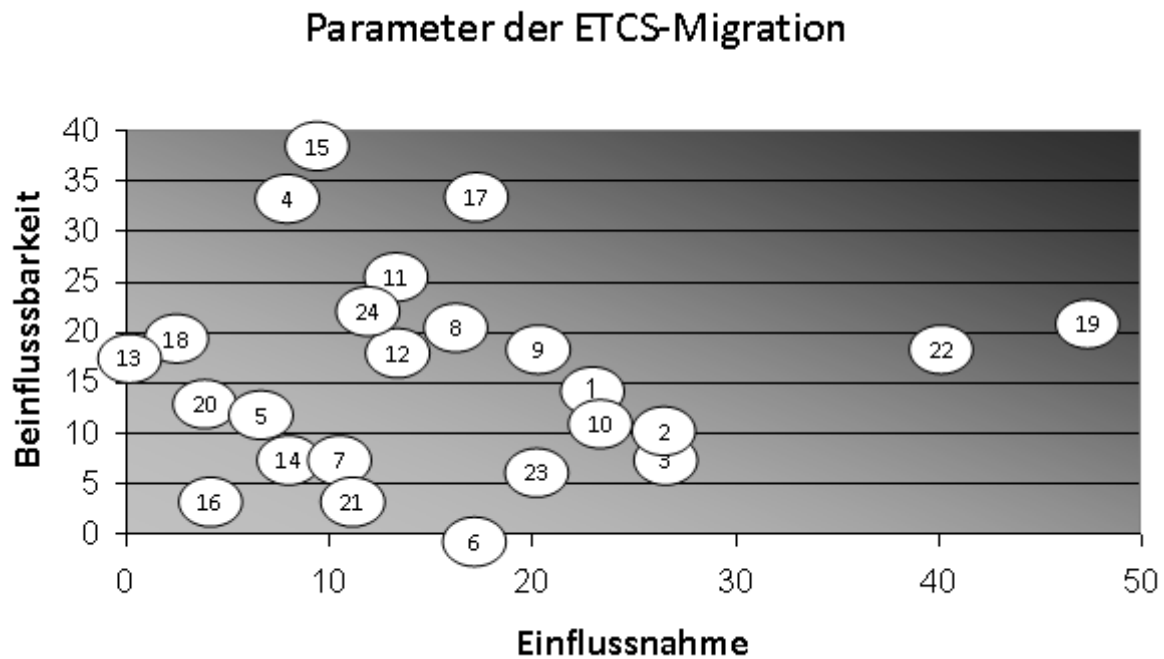


Abbildung 38 Auswertung der Einflussmatrix

Ziffer	Elemente
1	Kein Verkehr nach ETCS-Ausrüstnotwendigkeit
2	Teil Lok-Pool-Bildung
3	Internationale Lok-Pool-Bildung
4	Finanzierung Infrastruktur TCS durch EVU
5	Integriertes oder Ontop ETCS-Gerät
6	ETCS-Betriebsregeln
7	STM-Philosophie
8	Ausrüstungsreserve über mehrere ETCS-Bereiche
9	Mieten statt Ausrüsten eigener Fahrzeuge
10	Verlegung der Streckenführung
11	Zeitpunkt ETCS-Ausbau der Strecke
12	Zeitpunkt GSM-R-Infrastrukturausbau
13	SRS-Weiterentwicklung
14	Rückfallebenen der Infrastruktur
15	Abbau der Class B-Systeme
16	Trassenpreisgestaltung für ETCS-Strecken
17	Zeitpunkt der Ausrüstnotwendigkeit
18	SRS-Update der Strecke
19	Kosten des ETCS-Einbaus
20	Zahl der gleichzeitig in der Werkstatt stehenden Züge
21	Zwischenzeitlicher SRS-Upgrade der Fahrzeuge
22	Beginn der Umrüstung
23	Kosten durch Verlust von Verkehr
24	Zeitdauer der Flottenumrüstung

Tabelle 10 Elemente der EVU Migration

4.4.1 Auswertung der Einflussmatrix und Bestimmung der entscheidenden Elemente

Wird die Klassifizierungsmethode nach Vester® auf die entstandene Auswertung der Einflussmatrix angewendet, so sind die Elemente der ETCS-Migration der Verkehrsunternehmen in die folgenden Bereiche eingeteilt:

4.4.1.1 Aktive Elemente

Das aktivste Element bei der ETCS-Migrationsgestaltung der EVU ist der

- 15 Abbau der Class B-Systeme.

Gefolgt von den Elementen nach absteigender Aktivität sortiert:

- 17 Zeitpunkt der Ausrüstnotwendigkeit
- 4 Finanzierung der Zugbeeinflussung der Infrastruktur durch das EVU
- 11 Zeitpunkt der ETCS-Infrastrukturausbauten
- 24 Zeitdauer der Flottenumrüstung

und mit größerem Abstand die Elemente

- 18 SRS-Update der Strecke
- 13 SRS-Weiterentwicklung

4.4.1.2 Reaktive Elemente

Die zwei Elemente, die am stärksten auf Veränderungen der anderen reagieren, sind erwartungsgemäß die

- 19 Kosten des ETCS-Einbau in die Fahrzeuge
- 22 Beginn der Umrüstung.

Die Elemente, die mit abnehmender Intensität reaktiv folgen, sind

- 2 Teilflotten-Bildung
- 10 Verlegung der Streckenführung
- 3 Internationale Lok-Pool-Bildung
- 23 Kosten durch den Verlust von Verkehr
- 6 ETCS-Betriebsregeln.

4.4.1.3 Puffernde Elemente

Puffernde Elemente, die das System stabilisieren, sind

- 20 Anzahl gleichzeitiger Züge in den Werkstätten
- 5 Entscheidung zwischen integriertem oder Ontop ETCS-Gerät
- 7 STM-Philosophie
- 21 Zwischenzeitlicher SRS-Upgrade der Fahrzeugsoftware
- 14 Rückfallebene der Infrastruktur
- 16 Trassenpreisgestaltung für ETCS-Strecken als Element mit dem geringsten Einfluss.

4.4.1.4 Neutrale Elemente

Neutrale Elemente besitzen ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Einflussnahme auf andere und Beeinflussung durch andere Elemente. Die Auswertung zeigt bei der Migrationsstrategie die folgende Reihenfolge:

- 9 Mieten statt Ausrüsten eigener Fahrzeuge
- 8 Ausrüstungsreserve über mehrere ETCS-Bereiche
- 1 Kein Verkehr nach ETCS-Ausrüstnotwendigkeit
- 10 Verlegung der Streckenführung
- 12 Zeitpunkt des GSM-R-Infrastrukturausbaus

4.4.1.5 Kritische Elemente

Im kritischen Bereich befinden sich nach dieser Auswertung keine Elemente.

4.5 Mess- und Steuergrößen der ETCS-Migration eines EVU

Reduziert man aufgrund dieser Auswertung die Anzahl der Elemente auf die 7 Entscheidenden, so kristallisieren sich als die zwei entscheidenden Messgrößen für die Wirtschaftlichkeitsbewertung die folgenden Elemente heraus.

Messgrößen der Migration	
19	die Kosten der ETCS-Ausrüstung sowie
22	der Beginn der Umrüstung

Tabelle 11 Liste der Messgrößen der Migration

Die fünf Elemente mit den größten Einflüssen und damit die entscheidenden Steuergrößen der Migration sind nach gleicher Logik:

Steuergrößen der Migration	
15	der Abbau des Class B-Systems
17	der Zeitpunkt der Ausrüstnotwendigkeit
4	die Finanzierung der Zugbeeinflussung der Infrastruktur durch das EVU
11	der Zeitpunkt der ETCS-Infrastrukturausbauten
24	die Zeitdauer der Flottenumrüstung

Tabelle 12 Liste der Elemente mit den größten Einflüssen auf die Migration

Diese sieben Elemente entscheiden in erster Linie über die Wirtschaftlichkeit der gesamten ETCS-Migration der EVU. Die Elemente aus dem neutralen Bereich sind für das Fine-Tuning innerhalb einer Flottenrüstung zu verwenden.

4.6 Sensitivitätsanalyse mit Hilfe der Ceteris-Paribus-Methode

In dem vorherigen Kapitel wurden generisch aus den identifizierten Rückwirkungen die 7 wichtigsten Gestaltungselemente herausgearbeitet. Zur Feststellung der individuellen Einflussnahme der Steuergrößen auf die Wirtschaftlichkeit wurde in dieser Arbeit eine Sensitivitätsanalyse der entscheidenden Steuergrößen unter Zuhilfenahme der Ceteris-Paribus-Methode durchgeführt. Das hier für die Wirtschaftlichkeitsberechnung entwickelte Simulationstool OMIWE, „Optimaler Migrationweg“, wurde dazu adaptiert. In einem Analysedurchlauf wird immer nur eine Einflussgröße verändert, während alle anderen konstant gehalten werden um genau deren Einfluss bestimmen zu können. Die Ceteris-Paribus-Methode stellt damit einen Weg dar, vereinfachte Modelle der Wirklichkeit hinsichtlich der Auswirkungen von Veränderungen einzelner Elemente zu betrachten und zu bewerten.

4.6.1 Simulationstool OMIWE zur Berechnung der Wirtschaftlichkeitszahl

Aufbauend auf den Migrationsmöglichkeiten, die in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben wurden, muss für eine Entscheidungsfindung eine in wirtschaftlicher Hinsicht objektive Vergleichbarkeit der einzelnen Migrationswege vorhanden sein. Der entstandene methodische Ansatz zur Bestimmung eines optimalen Migrationsweges führt in der Realität aufgrund der möglichen Variantenvielfalt zu einer Vielzahl von Kalkulationen und Untersuchungen.

Als pragmatischer Ansatz hierfür wurde im Rahmen der Untersuchungen für diese Arbeit das Simulationstool OMIWE (Optimaler Migrationweg) auf Excel-Basis entwickelt. Das Simulationstool OMIWE bietet die Möglichkeit einer objektiven Vergleichbarkeit der betrachteten Migrationswege anhand des eingesetzten Kapitals, der kumulierten Kapitalwerte sowie der Umbauzeiten. Darüber hinaus schafft das Simulationstool einen Ansatz wann mit der Umrüstung begonnen werden muss um den Zeitpunkt der ETCS-Ausrüstung zu erreichen. OMIWE kann zur Entscheidungsfindung herangezogen werden, solange nur die objektiven Kapitalwerte und die objektiven Umbauzeiten berücksichtigt werden müssen.

4.6.1.1 Simulationstoolparameter und Rechenmethode

Das Simulationstool besteht aus einem Parameterblock sowie einer zeitlichen Ausrüstungs- und Kostenmatrix.

Aus der Ausrüstmatrix erhält man den Umbauzeitraum und aus der kumulierten Kostenmatrix die pro Jahr aufzuwendenden Kosten sowie den Kapitalwert.

OMIWE berücksichtigt neben den differenzierten Kostenansätzen für Lokomotiven und Triebzügen auch die unterschiedlichen Kostenansätze für Neu- und Bestandsfahrzeuge der eigentlichen ETCS-Ausrüstung.

Einmalkosten für das Engineering sowie die mehrjährigen Projektmanagementleistungen werden jahresbezogen mit Standardkostensätzen in das Tool eingebracht.

Ein jährlicher Teuerungszuschlag berücksichtigt dabei einen unterschiedlichen Startzeitpunkt der Ausrüstung.

Ausfallkosten in den Zeiten, in denen die Züge nicht dem produktiven Verkehr zur Verfügung stehen, berücksichtigt OMIWE ebenso wie die Imageverlustkosten oder Kosten die durch Umsteigewiderstände aufgrund von gebrochenen Verkehren entstehen.

Für eine Vergleichbarkeit der Kapitalkostenwerte ist manuell die verbleibende Restlebensdauer der Triebfahrzeuge zu berücksichtigen.

Im Falle von notwendigen Infrastrukturkosten zur Erreichung von Verkehren besteht in OMIWE die Möglichkeit diese Kosten jahresbezogen abzubilden.

Die jährlichen Instandhaltungskosten für ETCS-Onboard werden mit einem prozentualen Satz in Abhängigkeit von der Investitionssumme jährlich mit eingerechnet.

Software-Upgrade-Kosten auf eine SRS 3.0.0 in Abhängigkeit von der Anzahl der bisher umgebauten Lokomotiven beziehungsweise Triebzüge werden zu einem bestimmten Zeitpunkt berücksichtigt, wenn vor dem Vorhandensein der legalen SRS 3.0.0 mit der ETCS-Ausrüstung begonnen wird. Zur Vergleichbarkeit wurde der Zeitpunkt für die Verfügbarkeit der SRS 3.0.0 auf 2015 gelegt. In dem Tool werden dann alle Fahrzeuge, die vor diesem Zeitpunkt mit einer SRS 2.3.0 ausgerüstet wurden im Jahr 2015 noch kostentechnisch einen Upgrade erfahren. Dies gerade bei Szenarien, die sich um diesen Zeithorizont bewegen von Bedeutung.

Der Zinsfuss sowie der Zinssatz für die Kapitalwertmethode werden im Parameterblock eingestellt.

Das Tool liefert bei einer szenarischen Trassenpreisveränderung den Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

Nationale bzw. internationale Förderung kann ebenfalls jahresbezogen in die Berechnung einfließen.

Durch die jahresbezogene Einstellung der Umbauzeiträume einzelner Lokomotiven und Triebzüge sind individuelle Umbauszenarien berechenbar. Dadurch können auch Effekte aufgrund mehrerer gleichzeitiger Zugumbauten berücksichtigt werden.

Das Tool geht davon aus, dass die Umrüstung oder auch Teilumrüstung einer Flotte zu einem bestimmten Zeitpunkt abgeschlossen sein muss.

Aufgrund der manuell einzugebenden Anzahl der umzubauenden Triebköpfe oder Lokomotiven berechnen sich Kapitalwert und Kosten automatisch. Der Umbauzeitraum sowie der Zeitpunkt des Umbaubeginns ergeben sich manuell rückwärts gerechnet aus der Anzahl der noch umzubauenden Züge.

4.6.1.2 Prämissen zur Benutzung des Simulationstools

Damit eine Vergleichbarkeit hergestellt werden kann, ist die Definition eines Basisszenarios notwendig. In der Beschreibung des Basisszenarios werden auch die allgemeinen Prämissen angewendet, die Grundlage der Berechnung ist.

4.6.1.3 Prämissen des Basisszenarios

Folgende Prämissen werden in dem Simulationstool als Basisszenario gesetzt:

- Im Basisszenario wird ein Zug nach dem anderen umgerüstet: Nur ein Zug fällt pro Jahr für den produktiven Betrieb aus.
- Einmalkosten entstehen nur in den ersten 2 bis 3 Jahren.
- Es werden nur Fahrplanperioden berücksichtigt.
- Lokführerschulungskosten werden in der Kalkulation nicht berücksichtigt.
- Der Prototypen-Umbau dauert dreimal so lange wie der Serienumbau.
- Die Hochrüstung auf SRS 3.0.0 ist ein reiner Software-Upgrade und erfordert keinen nennenswerten Werkstattaufenthalt. Der Werkstattaufenthalt wurde in diesem Tool nicht berücksichtigt sondern nur der kostentechnische Aufwand.
- Der Beginn der Umrüstung von Bestandsfahrzeugen erfolgt so spät wie möglich.

4.6.1.4 Einsatz des Tools

OMIWE ist für jeden Simulationslauf einzeln zu bedienen.

Nach der Eingabe der Parameter ist es erforderlich Rückwärts von dem Zeitpunkt der Ausrüstnotwendigkeit die Anzahl der pro Jahr umzurüstenden Lokomotiven oder Triebköpfe in den einzelnen Jahresscheibenspalten anzugeben. Korrespondierend dazu sind Projektmanagementkosten und Einmalengineeringkosten anzugeben den entsprechenden Jahresscheiben anzugeben.

Dies ist für eine ganzheitliche Betrachtung auch neben einer gesamten Flotte, für Teilflotten oder eine Gruppe von Flotten mit je unterschiedlichen Zeitpunkten und Effekten möglich.

Mit Hilfe der Parameter aus dem Parameterblock kalkuliert das Tool daraufhin die jährlichen Kosten, die Kumulierten Kosten und den Kapitalwert Jahresscheibenscharf.

Eine Summenbildung erfolgt über den gesamten Betrachtungszeitpunkt.

Nach Abschluss einem Durchlauf stehen für diesen Migrationsweg

- Die Kosten pro Jahr
- Der Kapitalwert pro Jahr
- Die Summe der Kosten für den Umbau
- Die Summe des Kapitalwertes für den Umbau

zur Verfügung.

Aufgrund der Rückwärtsrechnung der Ausrüstung ergibt sich der Startzeitpunkt, an dem der Umbau der betrachteten Flotte begonnen werden muss. Der Zeitpunkt zu dem die Flotte umgerüstet worden ist, entsprechend dem Zeitpunkt der ETCS-Ausrüstnotwendigkeit wird in dem Migrationstool als der Zeitpunkt $T = 0$ festgelegt. Der Beginn des Umbaus wird deswegen immer in negativer Zeit vor dem Zeitpunkt der ETCS-Ausrüstung angegeben. Eine Verzögerung der Fertigstellung des ETCS-Einbaus in die Flotte über die ETCS-Ausrüstnotwendigkeit hinaus wird im Zeitverlauf mit positiven Werten dargestellt.

4.6.1.5 Ergebnisse des Simulationstool

Das Simulationstool ergibt für jeden Migrationsweg folgende Ergebnisse:

- Das einzusetzende Kapital pro Jahr
- Der kumulierte Wert nach der Kapitalwertmethode
- Der Beginn der Nachrüstung (bei konsequenter Rückwärtsrechnung vom Endpunkt aus)

Bei einer endgültigen zeitlichen Planung eines Umbaus für existierende Fahrzeuge sind noch folgende nicht im Tool enthaltene Randparameter zu berücksichtigen.

- Vorlaufzeiten für die Lastenhefterstellung
- Zeiten für Ausschreibungs-, Genehmigung- und Einkaufsaktivitäten
- Engineering-Zeiten bei dem Lieferanten

4.6.2 Vergleichsbasis der alternativen Migrationswege

Wichtig für Varianten- und Sensitivitätsuntersuchungen ist eine Referenz- oder Vergleichsbasis. Die Ergebnisse der neuen Untersuchungen werden mit den Werten der Vergleichsbasis verglichen. Die Differenz gibt in diesem Fall den Effekt der Verbesserung bzw. der Verschlechterung. Im vorangegangenen Kapitel wurde das Simulationstool vorgestellt. Um für die Sensitivitätsanalyse wie auch für die später folgende Migrationspfaduntersuchungen eine Vergleichsbasis zu

haben, ist es wichtig diese sorgfältig als Standard zu definieren. Hier wurde von einer gesamten realen Flotte ausgegangen, die standardmäßig szenarisch in einem Durchgang ausgerüstet wird.

Als Vergleichsbasis für die Sensitivitätsanalyse wurde folgendes Basisszenario zugrunde gelegt:

- Ein Zug wird gleichzeitig umgebaut.
- Es existiert ein definierter Endzeitpunkt, zu dem die komplette Flotte mit 70 Zügen umgebaut sein muss.
- Es werden die zusätzlichen Instandhaltungskosten berücksichtigt.
- Es wird ein definierter Zeitpunkt, hier definitionsgemäß das Jahr „0“, festgelegt, ab dem die Strecke nur noch mit ETCS zu befahren ist.
- Eine eventuell notwendige Hochrüstung auf SRS 3.0.0 wird zum Zeitpunkt -1 Jahr vor dem Inbetriebnahmezeitpunkt festgelegt.
- Es wird eine definierte Umbauzeit von 4 Wochen pro Zug festgelegt.
- Es wird ein Einmal-Engineering zu Beginn der Umrüstung der Flottenumrüstung festgelegt.
- Drei Jahre lang wird am Anfang Projektmanagementaufwand eingerechnet.
- Die Kosten und der Kapitalwert werden bis ein Jahr nach der Inbetriebnahme berücksichtigt.

Die Abbildung 39 verdeutlicht graphisch das Basisszenario. Aufgetragen sind dabei die jährlichen Kosten sowie der summierte Kapitalwert die dem Umbauzeitraum folgen.

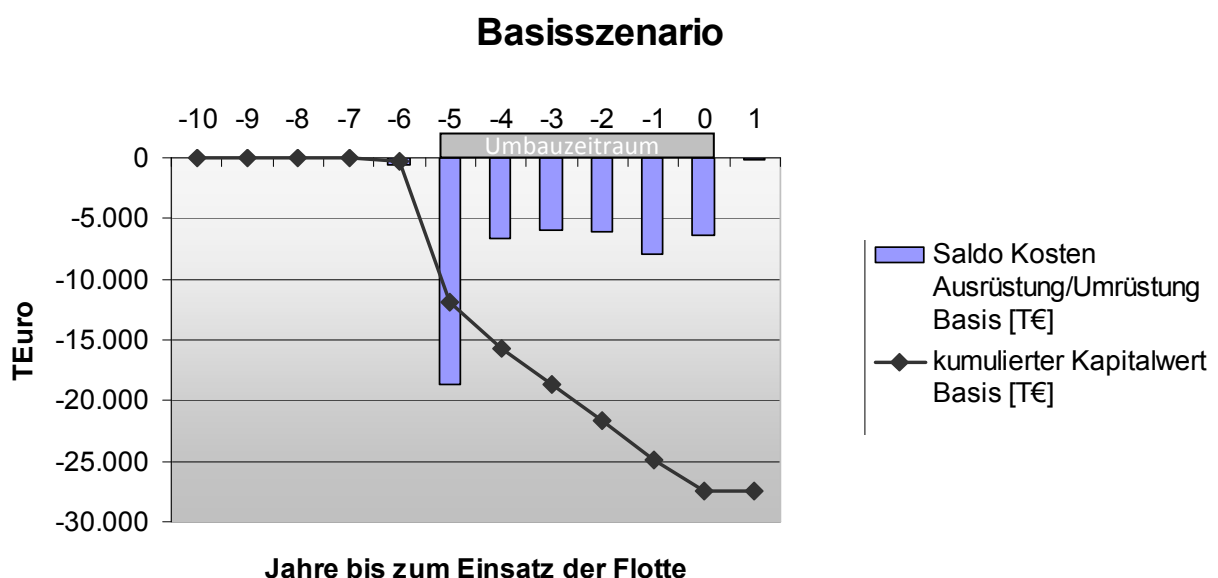


Abbildung 39 Basisszenario für die Parametersensitivitätsanalyse

Das Simulationstool OMIWE generiert für das Basisszenario folgende Referenzwerte:

Dauer der Umbauzeit pro Zug in Wochen	Zahl der gleichzeitig in der Werkstatt stehenden Züge	Gesamte Umbauzeit in Wochen	Kosten	Kapitalwert
4	1	288	52,4 Mio. €	27,5 Mio. €

Tabelle 13 Basiswerte der Simulation

Diese Referenzwerte sind die Bezugswerte für die weiteren Untersuchungen. Die graphische Darstellung beschränkt sich dabei auf die Kosten und Kapitalwerte über die Zeit.

4.6.3 Sensitivitätsuntersuchungen

Die mit Hilfe der Vester®-Methode erarbeiteten entscheidenden Steuergrößen werden in Folge mit der Ceteris-Paribus-Methode in folgenden Kombinationen mit OMIWE untersucht. Die Ergebnisse in Bezug auf die Kosten und den Kapitalwert (Messgröße 19), sowie den Beginn der Umrüstung (Messgröße 22), definiert durch die Umbaudauer, werden gegenübergestellt.

Die folgenden Kombinationen werden untersucht:

- Gleichzeitige Ausrüstung mehrere Züge und dadurch kürzerer Umbauzeiten (Steuergröße 24)
- Verlängerung der Umbauzeiten einzelner Züge zur Simulation der Verknüpfung mehrer Umbaumaßnahmen am Zug während des Werkstattaufenthaltes und dadurch Umbau weniger Züge pro Jahr (Steuergröße 24)
- Verschiebung der ETCS-Ausrüstnotwendigkeit nach hinten, dadurch späterer Beginn der Ausrüstung (Steuergröße 17)
- Finanzierung des Class B-Systemes und Verschiebung der ETCS-Ausrüstnotwendigkeit der Fahrzeuge (Steuergröße 4)

4.6.4 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Die im vorherigen Kapitel beschriebenen Parametervariationen wurden mit OMIWE durchgeführt. Jede Variante erforderte dazu einen einzelnen Simulationslauf. Zur Vergleichbarkeit der Varianten wurden diese untereinander und zusammen mit dem Ergebnis der Vergleichsbasis tabellarisch und graphisch abgebildet.

Grundsätzlich werden die kumulierten Investitionskosten und Kapitalwerte in Abhängigkeit von den veränderten Elementen dargestellt. Ergänzend dazu wird die Kurvenschar der Kapitalwerte und Investitionswerte über die Zeitscheiben demonstriert. Der direkte Einfluss des untersuchten Elementes wird durch diese Untersuchung in der Veränderung der Kosten und des Kapitalwertes sichtbar.

4.6.4.1 Sensitivität der Umbauzeit bei gleichzeitiger Ausrüstung mehrerer Züge

Die Sensitivität der Umbauzeit der Flotte (Steuergröße 24) wurde in diesem Kapitel mit den drei folgenden Parametersätzen untersucht:

- ein Zug gleichzeitig in der Werkstatt,
- zwei Züge gleichzeitig in der Werkstatt und
- drei Züge gleichzeitig in der Werkstatt.

Die Veränderung der Anzahl der Züge, die gleichzeitig in der Werkstatt umgebaut werden, beeinflusst auf der einen Seite den Anfangszeitpunkt der Umrüstung und zum Zweiten bedingt durch die Kapitalwertmethode den Kapitalwert. Die aufzuwendenden Kosten reduzieren sich durch die Anzahl der auf die SRS 3.0.0 hochzurüstenden Züge.

Die Ergebnisse im Einzelnen

Anzahl Züge gleichzeitig in der Werkstatt	Gesamte Umbauzeit in Wochen	Kosten	Kapitalwert
1 (Basisszenario)	288	52,4 Mio. €	27,5 Mio. €
2	148	51,7 Mio. €	22,5 Mio. €
3	93	51,5 Mio. €	21,1 Mio. €

Tabelle 14 Parametersensitivität gleichzeitiger Umbau mehrer Züge

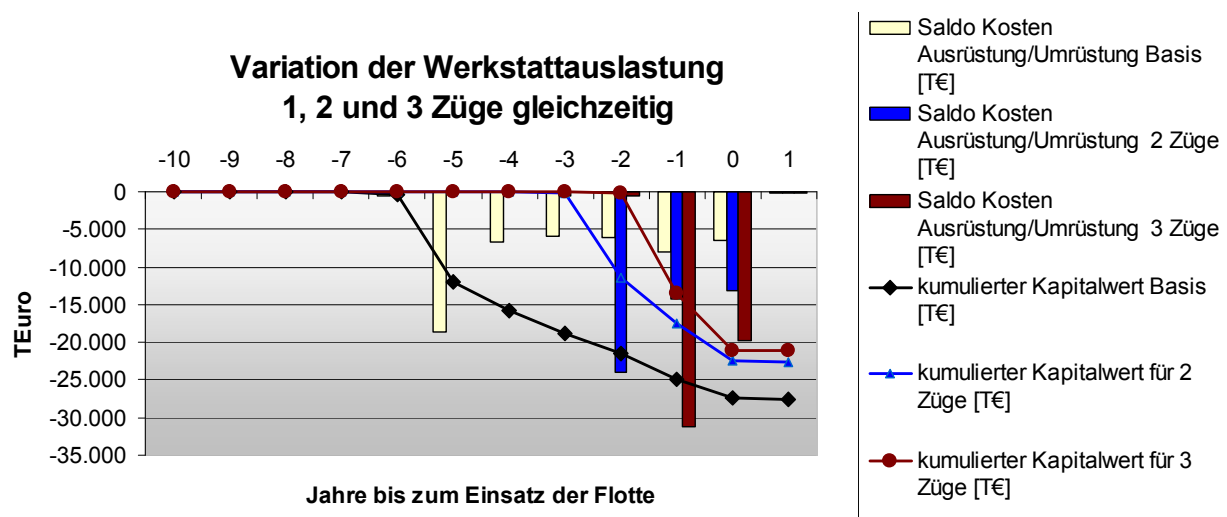


Abbildung 40 Parametersensitivität gleichzeitiger Umbau mehrerer Züge

Deutlich zu sehen ist der Einfluss der anfänglichen Einmal-Engineeringkosten sowie die anfänglichen Projektmanagementkosten. Die Differenz der aufzuwendenden Kosten kommt in erster Linie durch die Anzahl der noch auf die SRS 3.0.0 hochzurüstenden Fahrzeuge zustande, die immer kleiner wird, je später der Startzeitpunkt liegt. Auch spielt hier der Einsparungseffekt bei den Instandhaltungskosten eine Rolle, da einzelne Züge später ausgerüstet werden. Bei drei gleichzeitig auszurüstenden Fahrzeugen besteht keine Notwendigkeit der Hochrüstung mehr. Die Kapitalkosten werden systembedingt bei späterem Anfang immer geringer. In diesem Vergleich wurden nicht die Effekte in der Produktion durch den Verlust der Verkehre berücksichtigt.

4.6.4.2 Sensitivität der Umbauzeit bei Veränderung der Umbauzeit je Zug

Die Umbauzeit einzelner Züge spiegelt sich wieder in der Steuergröße 24. Bei der Variation der Umbaudauer je Zug wird immer nur ein Zug gleichzeitig in der Werkstatt vorausgesetzt

Die hier durchgeführte Parametersensitivitätsanalyse mit den Größen

- Umbauzeit 2 Wochen,
- Umbauzeit 4 Wochen und
- Umbauzeit 6 Wochen

führen zu folgenden Einzelergebnissen:

Dauer der Umbauzeit pro Zug in Wochen	Gesamte Umbauzeit in Wochen	Kosten	Kapitalwert
2	144	52,0 Mio. €	22,6 Mio. €
4 (Basisszenario)	288	52,4 Mio. €	27,5 Mio. €
6	432	51,9 Mio. €	35,7 Mio. €

Tabelle 15 Parametersensitivität der Umbauzeit pro Zug

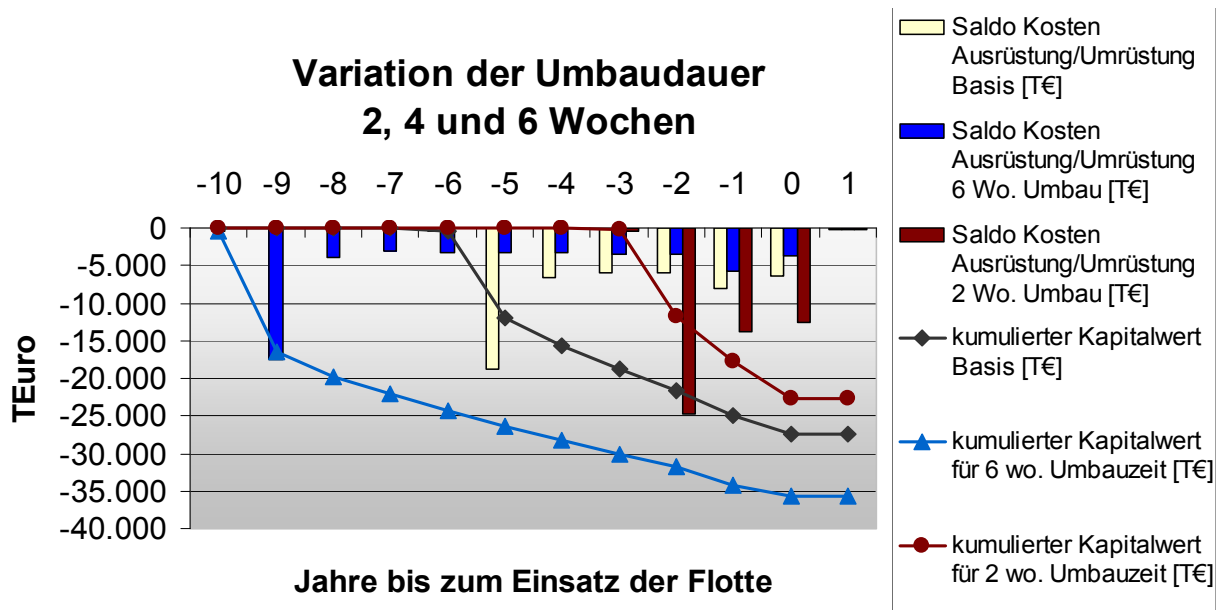


Abbildung 41 Parametersensitivität der Umbauzeit pro Zug

Die Kosten verändern sich aufgrund der Teuerungsrate des Equipments, sowie durch den gegenläufigen Effekt der zusätzlichen Instandhaltungskosten. Die Basisvariante weist hier aufgrund der gewählten Parametrierung von den Kosten her den höchsten Anteil auf.

4.6.4.3 Sensitivität der Verschiebung der Ausrüstnotwendigkeit

Die Verschiebung der Ausrüstnotwendigkeit (Steuergröße 17) ist eine Steuergröße, die nicht allein aktiv durch das EVU verändert werden kann.

In dem Fall, in dem die Infrastruktur die Ausrüstnotwendigkeit vorgibt, muss auf diese der Einfluss ausgeübt werden, den Zeitpunkt der ETCS-Ausschliesslichkeit zu verändern.

Zur sinnvollen Vergleichbarkeit wird in dieser Simulation der zeitliche Betrachtungshorizont erweitert. Dieser reicht hier bis 3 Jahre nach dem ursprünglichen ETCS-Ausrüstungszeitpunkt.

In der Sensitivitätsanalyse werden die Ergebnisse von folgenden Parameteränderungen gegenüber gestellt:

- Basisszenario,
- Verschiebung der ETCS-Ausrüstung bzw. Ausrüstnotwendigkeit um 2 Jahre nach vorne und
- Verschiebung der ETCS-Ausrüstung bzw. Ausrüstnotwendigkeit um 2 Jahre nach hinten.

Die Ergebnisse im Einzelnen

Verschiebung der ETCS-Ausrüstung um Jahre	Gesamte Umbauzeit in Wochen	Kosten	Kapitalwert
2 Jahre nach vorne	288	52,9 Mio. €	33,0 Mio. €
Basisszenario	288	52,7 Mio. €	27,6 Mio. €
2 Jahre nach hinten	288	52,7 Mio. €	22,9 Mio. €

Tabelle 16 Parametersensitivität des Beginn ETCS-Ausrüstnotwendigkeit

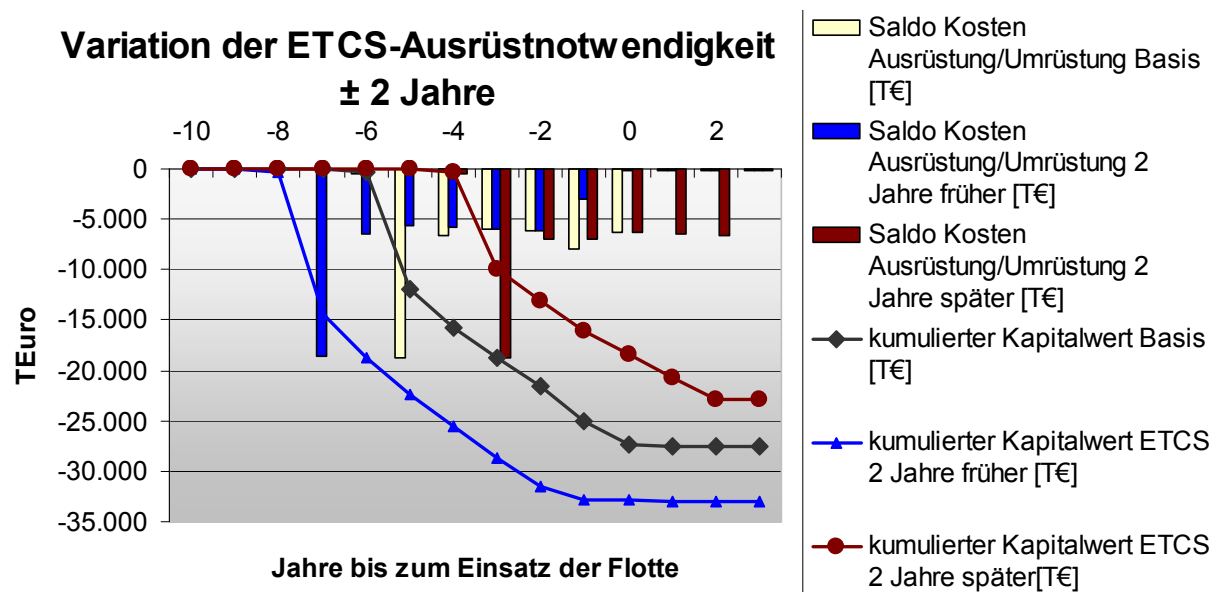


Abbildung 42 Parametersensitivität des Beginn ETCS-Ausrüstnotwendigkeit

Deutlich wird auch hier nach der Kapitalwertmethode der günstigere, spätere Beginn der Ausrüstung.

Die Instandhaltungskosten, verursacht durch den längeren Betrieb im Falle des früheren Beginns, sind kaum sichtbar.

4.6.4.4 Einfluss der Finanzierung der Class B-Systeme bei Nachbarbahnen durch das EVU

Der Effekt der Finanzierung von Zugbeeinflussungssystemen auf Infrastruktur-seite durch das Eisenbahnverkehrsunternehmen, die entscheidende Steuergröße 4, wurde hier nicht weiter quantitativ untersucht. Eine Finanzierung des alten Class B-Systemes auf neu gebauten oder sanierten Strecken ist heute politisch nicht korrekt. Eine Finanzierung von zusätzlichen ETCS auf existierender Infrastruktur der Nachbarbahnen, um eine Ausrüstung von neuen Fahrzeugen mit den alten Class B-Systemen des Nachbarlandes zu vermeiden, ist eine Bewertung eines sehr komplexen Zusammenhanges und nur individuell zu betrachten. Eine Simulation kann hier keine generischen Aussagen liefern.

4.6.4.5 Bewertung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Die Auswertung der Sensitivitätsanalyse zeigt deutlich, dass der Beginn der ETCS-Ausrüstung den größten Einfluss auf den Kapitalwert hat. Die Kostenveränderungen sind dagegen bei Verschiebung des Beginns der Ausrüstung relativ klein. Sie werden durch die Zeit der zusätzlichen Instandhaltungskosten sowie der noch umzurüstenden Fahrzeuge auf die SRS 3.0.0 beeinflusst. Es treten positive Effekte bei generell späteren Beginn durch das Einsparen von Instandhaltungskosten und eventuellen notwendigen Upgrade-Kosten ein.

Wird die Gestaltungsmöglichkeit der ETCS-Migration aus Kapitalsicht betrachtet, dann ist die kürzeste Umbauzeit die wirtschaftlichste. In der Realität setzen beschränkte Ressourcen der Werkstätten, der Industrie oder der freistellbaren Züge Grenzen in der Verkürzung der Umbauzeit.

Die Effekte in Bezug auf Ressourceneinsatz in den Werkstätten, in der Materiallogistik und der Schulung von Triebfahrzeugführern wurden hier nicht explizit berücksichtigt.

In diesem Kapitel wurde aus den identifizierten Gestaltungselementen für eine ETCS-Migration durch hinzufügen von zusätzlicher Information der Rückwirkung die wichtigsten Mess- und Steuergrößen herausgearbeitet. Für die Sensitivitätsuntersuchung wurde ein Basisszenario entwickelt und mithilfe der Sensitivitätsanalyse wurden dabei die Einzelwirkungen der Parameter auf das System nachgewiesen.

4.7 Die Untersuchungskette zur Bestimmung des optimalen Migrationsweges

Aufbauend auf den möglichen Gestaltungselementen, der Kenntnis über die wichtigsten Steuer- und Messgrößen der Migration und deren Wirkung auf das System, ist der nächste Prozessschritt die Untersuchung der Migrationspfade mit den verschiedenen Gestaltungselementen und die Herausarbeitung des optimalen Migrationsweges. Dazu ist das vorgestellte Simulationstool OMIWE eine große Hilfe. Als nächstes muss mit Hilfe von Untersuchungen der optimale Weg bestimmt werden. Um keine Möglichkeiten außer Acht zu lassen und auch erhaltene suboptimale Ergebnisse zu verbessern, sieht die hier erarbeitete strukturierte Vorgehensweise eine iterativ zu durchlaufende Untersuchungskette vor. Diese spezifische Untersuchungskette endet in einem wirtschaftlich optimalen Migrationsweg.

Der methodische Ansatz der hier vorgestellten Untersuchungskette, die im Bedarfsfall iterativ mit veränderten Rahmenbedingungen mehrfach durchlaufen werden muss, ist bewusst einfach gehalten um die Praktikabilität in der Praxis so groß wie möglich zu gewährleisten. Das Ziel dabei ist die Differenzierung der durch die Wirtschaftlichkeitsrechnungen objektiv vergleichbaren Migrations-

wege. Der Einsprungspunkt und die Reihenfolge der einzelnen Abwägungen, Untersuchungen und Entscheidungen variieren in der Praxis situationsbedingt. In dieser Arbeit wird der Zusammenhang zwischen den individuellen Betrachtungen für einzelne Migrationswege, den daraus resultierenden Wirtschaftlichkeitsergebnissen und der Entscheidung zu dem optimalen Migrationsweg hergestellt.

Die Methodik zum Erstellen von individuellen Wirtschaftlichkeitsrechnungen und deren weiterer Randparameter finden keinen Eingang in diese Arbeit, da jedes Unternehmen für sich dafür eigene methodische Ansätze vorhält. In dieser Arbeit werden zur Vergleichbarkeit der Standardansatz der Kapitalwertmethode sowie eine jahresbezogene Summation der entstandenen Kosten verwendet.

4.7.1 Die Basis-Migrationsvariante

Eine Vergleichbarkeit von Maßnahmen oder Wegen ist erst möglich, wenn von einer gemeinsamen Basis ausgegangen wird. Hierbei unterscheidet man zwischen der Ausrüstung von Bestandsfahrzeugen und der Ausrüstung von Neufahrzeugen.

Für Bestandsfahrzeuge besteht die Basisvariante aus der kompletten ETCS-Ausrüstung der Fahrzeugflotte, die aufgrund einer ETCS-Ausrüstnotwendigkeit eine bestimmte Strecke zu einem bestimmten Zeitpunkt bedienen soll.

Für Neufahrzeuge bestehen zurzeit gesetzlich zwei Grundscenarien:

- Das Basiszugbeeinflussungssystem der Neufahrzeuge ist ETCS. Zum Befahren von Strecken mit Class B-Systemen werden die notwendigen STMs vorgehalten.
- Die Neufahrzeuge werden für ETCS vorgerüstet. Da Basiszugbeeinflussungssystem ist hier das nationale Class B-System.

In Abhängigkeit von der Flottengröße und Komplexität des Einsatzes kann die eine oder andere Variante für Neufahrzeuge sinnvoll sein.

Die heutigen Überlegungen der EU gehen von einer Festschreibung von ETCS als Basiszugbeeinflussungssystem bei Neufahrzeugen aus. Gerade für Nahverkehrsfahrzeuge oder auch Fernverkehrsfahrzeuge, die nur auf dem nationalen Netz mit Class B ausgerüsteter Infrastruktur unterwegs sind, ist abgesehen von Rangierlokomotiven diese Vorschrift wirtschaftlich nicht darstellbar.

Aufgrund des immer stärker werdenden internationalen Verkehrs, hat sich die DB Fernverkehr dazu entscheiden für Neufahrzeuge grundsätzlich ETCS als Basiszugbeeinflussungssystem zu bestellen.

4.7.2 Definition des alternativen Migrationsweges

Durch die Nutzung eines der vorher beschriebenen Gestaltungselemente GE_i wird ein spezieller Migrationsweg WEG_i eingeschlagen. Die Bewertung dieses alternativen Migrationsweges erfolgt über eine Wirtschaftlichkeitsberechnung. Die Vergleichbarkeit von einzelnen Migrationswegen wird durch den Vergleich der sich aus den jeweiligen Wirtschaftlichkeitsrechnungen ergebenden Wirtschaftlichkeitszahlen WR_i sichergestellt.

4.7.3 Definition der Untersuchungskette

Die Ermittlung und der Vergleich von alternativen Migrationswegen setzt eine strukturierte Herangehensweise voraus um den durch wiederholte Wirtschaftlichkeitsrechnungen entstehenden Aufwand zu minimieren. Dazu wurde in dieser Arbeit eine Untersuchungskette definiert, der unrealistische Migrationswege von Grund auf ausschließt.

Die Untersuchungskette, die bei jeder Optimierung einer ETCS-Ausrüstungsstrategie einer Flotte durchlaufen werden muss, besteht dabei aus Einzelblöcken, die jedem Gestaltungselement zugeordnet sind.

Diese Blöcke sind für alle Gestaltungselemente gemäß Abbildung 43 gleich aufgebaut.

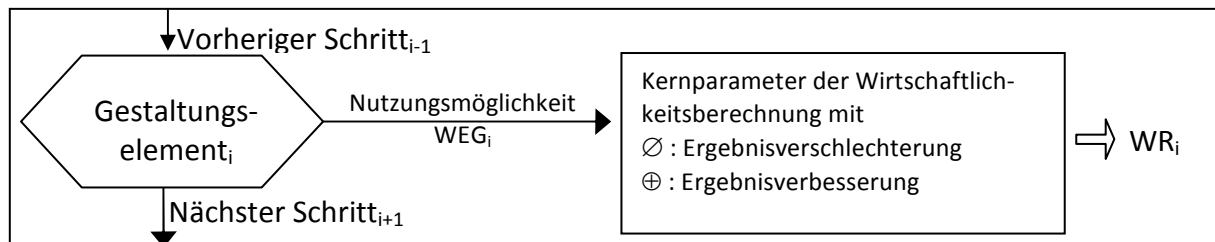


Abbildung 43 Entscheidungsblock pro Gestaltungselement

Jeder Entscheidungsblock besteht prinzipiell aus drei Einzelementen:

- dem Gestaltungselement GE_i ,
- der Entscheidung dieses Gestaltungselement zu nutzen/zu betrachten,
- der Ausführung der Wirtschaftlichkeitsrechnung mit dem Ergebnis der Wirtschaftlichkeitszahl WR_i . Es sind hier nur die die Wirtschaftlichkeitsberechnung beeinflussenden Kernfaktoren angegeben.

Die Untersuchungskette wird grundsätzlich Schritt für Schritt von oben nach unten durchlaufen. Fällt die Entscheidung, das Gestaltungselement GE_i zu nutzen, dann wird eine Wirtschaftlichkeitsberechnung für diesen Weg durchgeführt, bevor der nächste Schritt angestoßen wird. Die Wirtschaftlichkeitszahl

WR_i steht am Ende zum Vergleich mit den WR_j der anderen Migrationsbetrachtungen zur Verfügung.

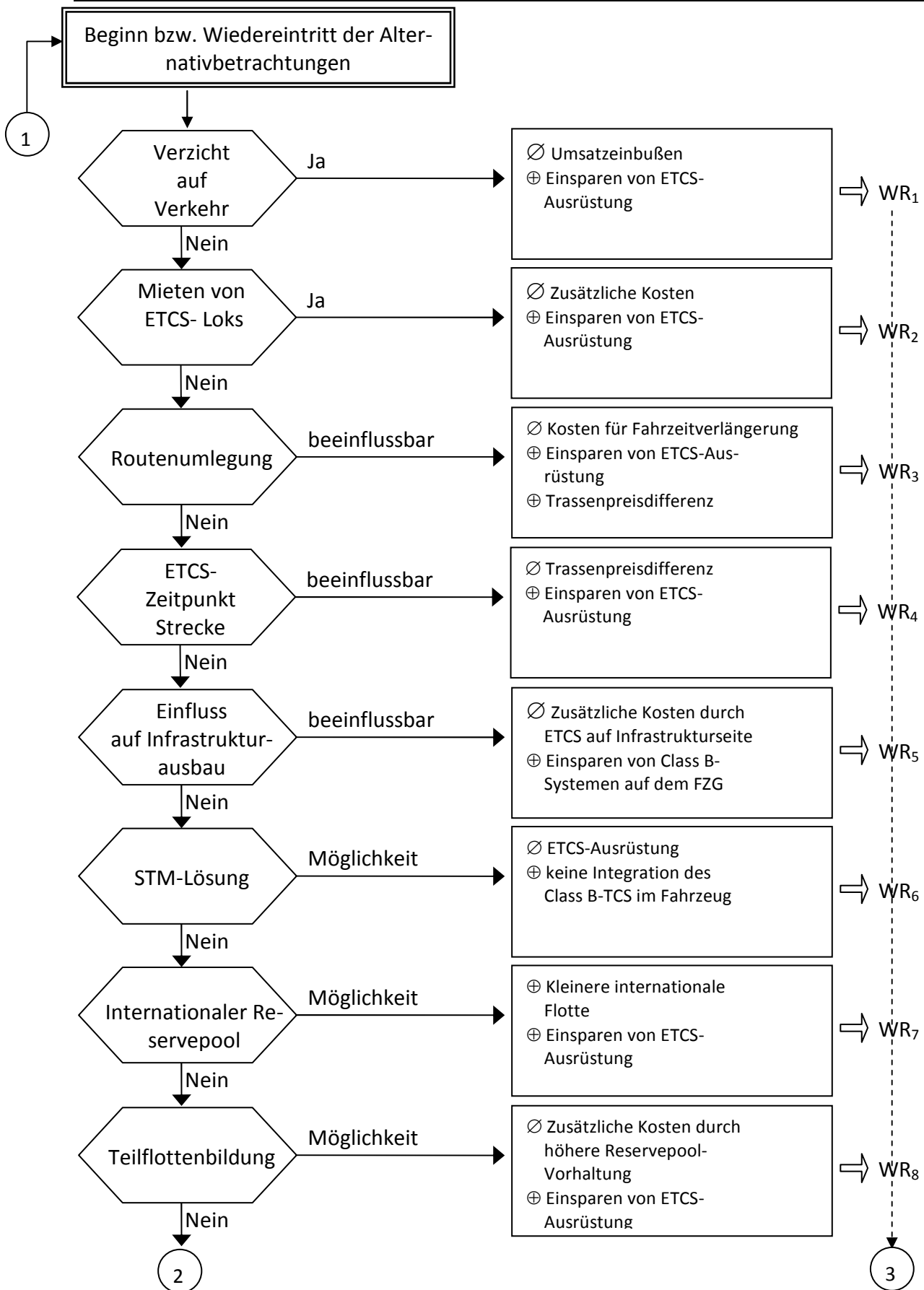
Die Entscheidung, ein Gestaltungselement in die Optimierung der ETCS-Ausrüstungsstrategie einzubeziehen, hängt in erster Linie von folgenden weichen Faktoren und Fragen ab:

- Erlaubt die internationale Verkehrspolitik diesen Schritt?
- Erlaubt das angestrebte Verkehrsgeschäftsmodell diesen Schritt?
- Erlauben interne/externe Verträge und bilaterale Abstimmungen in Zeit/Strecke und Flottenzusammensetzungen diesen Schritt?
- Erlaubt die Wettbewerbssituation diesen Schritt?
- Besteht die Möglichkeit der Beeinflussung des Faktors dieses Gestaltungselementes?
- Verhindern andere politische Rahmenbedingungen die Nutzung dieses Gestaltungselementes?
- Steht dieser Weg im Einklang mit den Netzzugangskriterien für den vorgesehenen Verkehr?

Die Nennung dieser Faktoren kann aufgrund der Eigenheit von zusätzlichen weichen Faktoren nicht vollständig sein.

Entscheidungen, die aufgrund von politischen Randbedingungen getroffen werden, führen mitunter in den finanziellen Betrachtungsräumen nicht zu der wirtschaftlichsten Lösung, wenn dadurch einzelne Gestaltungselemente nicht betrachtet werden können.

Die nachfolgende Untersuchungskette in Abbildung 44 fokussiert auf die Kernparameter, die die einzelnen Wirtschaftlichkeitsberechnungen maßgeblich beeinflussen und unterscheiden.



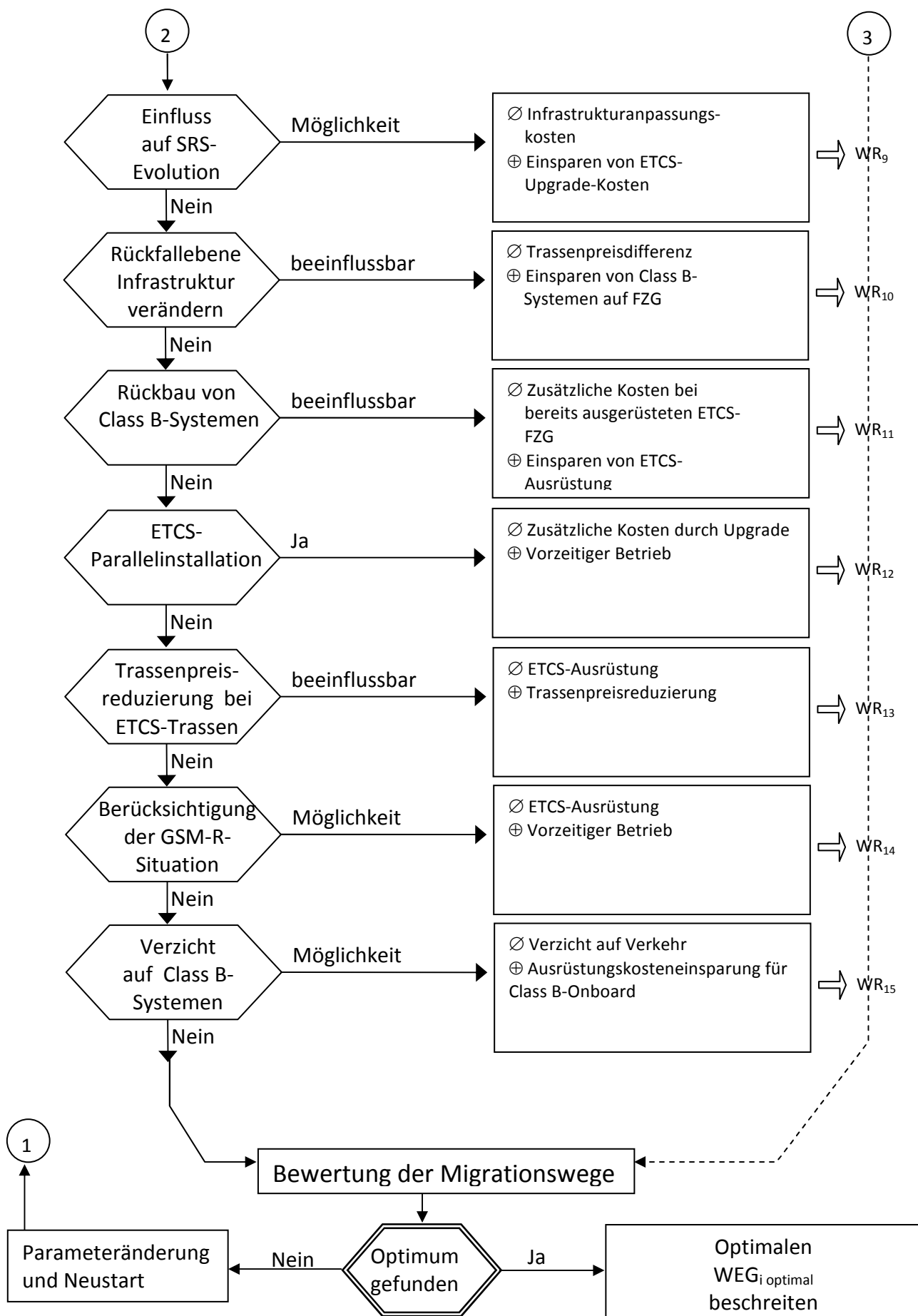


Abbildung 44 Untersuchungskette der Migrationswege

4.7.4 Herleitung des optimalen Migrationsweges

Ausgehend von dem erfolgreichen Durchlauf der Untersuchungskette kann der optimale Migrationsweg bestimmt werden. Das Hauptelement für die Bewertung des Migrationsweges ist die Wirtschaftlichkeitszahl.

4.7.4.1 Definition der Wirtschaftlichkeitszahl

Zur Vereinfachung und Vergleichbarkeit wird für die Wirtschaftlichkeitsberechnung und dem Ergebnis daraus die Kapitalwertmethode herangezogen. Die Kapitalwertmethode für sich ist ein Baustein um innerhalb eines Unternehmens unter anderem eine Vergleichbarkeit von verschiedenen Szenarien sicherzustellen. Aufgrund der individuellen Anwendung und der verwendeten Parameter wie Zinsfuß, berücksichtigte Kosten, berücksichtigte Effekte und weiteren ist die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Unternehmen für die gleichen Szenarien meist nicht sichergestellt.

Die Kapitalwertmethode, auch Barwertmethode oder Net Present Value kurz NPV genannt, ist ein Discounted Cash-Flow-Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung. Durch Abzinsung auf den Beginn der Investition werden Zahlungen, die zu beliebigen Zeitpunkten anfallen, vergleichbar gemacht.

Der Kapitalwert einer Investition ist die Summe der Barwerte aller durch diese Investition verursachten Zahlungen (Ein- und Auszahlungen). Voraussetzung ist jedoch, dass zwischenzeitliche kumulierte Überschüsse sofort zum Kalkulationszinssatz angelegt werden (Wiederanlageprämisse).

Die Kapitalwertmethode erlaubt die Beurteilung einer Erweiterungsinvestition und die Bestimmung des Ersatzzeitpunktproblems [WIKIPEDIA].

Der Kapitalwert berechnet sich wie folgt:

$$C_0 = -I + \sum_{t=1}^T (R_t) * (1+i)^{-t} + L * (1-i)^{-T}$$

Formel 9 Kapitalwertberechnung

Mit

- C_0 : Kapitalwert
- I : Investition
- T : Betrachtungsdauer (in Perioden)
- R_t : Rückfluss (Cash-Flow) in Periode t
- L : Liquidationserlös / Resterlös
- i : Kalkulationszinssfuß (KZF)

Die Wirtschaftlichkeitszahl errechnet sich aus der Differenz zwischen dem Kapitalwert der Weiterführungsvariante und dem Kapitalwert der Planvariante.

$$WR = C_{0_Planvariante} - C_{0_Weiterführungsvariante}$$

Formel 10 Definition der Wirtschaftlichkeitszahl WR

4.7.4.2 Definitionen der Planvariante

Die Planvariante ist der Migrationsweg, der durch die Nutzung des Gestaltungselementes G_i eingeschlagen werden würde.

4.7.4.3 Definition der Weiterführungsvariante

Der Migrationsweg der Weiterführungsvariante stellt das Referenzszenario dar. Das Referenzszenario ist in unserer Betrachtung die zeitgerechte komplette ETCS-Ausrüstung der kompletten Bestandsfahrzeugflotte zum Zeitpunkt der Ausrüstnotwendigkeit. Für Neufahrzeugflotte sei das Basisszenario die Ausrüstung mit ETCS und allen notwendigen STM der befahrenen Länder auf allen Fahrzeugen.

Dieses Szenario stellt die Referenz für die alternativen Migrationswege dar. Durch diese Betrachtungen ist eine Relativbetrachtung einzelner Varianten möglich.

$$WR_0 = WR_{Basisvariante}$$

Formel 11 Definition der Basiswirtschaftlichkeitszahl

Der Vergleich der Wirtschaftlichkeitszahl eines Migrationsweges WR_i mit der Basis WR_0 ergibt sofort eine Bewertung dieses WEG_i.

Der WEG_i ist wirtschaftlich besser als die Basisvariante bei

$$WR_i > WR_0$$

und wirtschaftlich schlechter bei

$$WR_i < WR_0$$

Das gleiche Vergleichsverfahren findet bei der Bewertung von zwei verschiedenen Migrationswegen statt.

Der WEG_j erzielt ein wirtschaftlicheres Ergebnis als der WEG_i bei

$$WEG_j > WEG_i$$

und ein schlechteres Ergebnis wenn

$$WEG_j < WEG_i.$$

Alle Wirtschaftlichkeitszahlen WR_i der einzelnen Migrationwege WEG_i werden dazu zunächst einzeln innerhalb der Entscheidungsblöcke berechnet und erst danach gesamthaft am Ende der Untersuchungskette bewertet.

4.7.4.4 Definition des optimalen Migrationsweges

Der wirtschaftlich optimale Migrationsweg $WEG_{i \text{ optimal}}$ wird dabei durch die größte Wirtschaftlichkeitszahl im Vergleich zu den WR_i der anderen Migrationswege WEG_j identifiziert. Der Index i identifiziert hier den Betrachtungsfall. Die Anzahl der betrachteten Migrationswege sei mit i_{\max} definiert.

$$WR_{i \text{ optimal}} = \{\text{maximum} | WR_i; [i \text{ von } 0 \text{ bis } i_{\max}]\}$$

Formel 12 Optimale Wirtschaftlichkeitszahl

$$WEG_{i \text{ optimal}} \equiv WR_{i \text{ optimal}}$$

Formel 13 Zuordnung der optimalen Wirtschaftlichkeit zu optimalem Migrationsweg

In einem iterativen Verfahren kann durch die Varianz der Aufteilung der Flotte, der Teilstrecken und anderer für diesen Fall wichtige Faktoren ein mehrfacher Durchlauf der Untersuchungskette das wirtschaftliche Ergebnis verbessern. Eine Kombination einzelner Gestaltungselemente und damit eine Verfeinerung der einzelnen Migrationswegabschnitte ist möglich und kann das wirtschaftliche Ergebnis ebenfalls noch verbessern.

Der wirtschaftlichste Migrationsweg $WEG_{i \text{ optimal}}$, nachgewiesen durch die das beste Wirtschaftlichkeitsergebnis erzielende $WR_{i \text{ optimal}}$, stellt für das Eisenbahnverkehrsunternehmen das wirtschaftliche Optimum dar.

4.8 Bewertung der methodischen Entwicklung eines Migrationsweges

Es existieren viele verschiedene, in diesem Kapitel beschriebene Elemente um den Migrationsweg zur Ausrüstung der Flotte eines Eisenbahnverkehrsunternehmens mit ETCS zu gestalten. Diese Elemente sind für Neu- und Bestandsfahrzeuge unterschiedlich anwendbar. Sie sind ebenso unterschieden in direkt innerhalb eines EVU beeinflussbare Elemente und solche, die eine Einflussnahme auf Dritte, wie zum Beispiel Infrastrukturunternehmen, beinhalten.

Erst eine Differenzierung der Elemente nach den entscheidenden Mess- und Steuergrößen lässt eine Optimierung der Migration zu. Eine Veränderung von Parametern, die das System instabil machen oder aufschaukeln lassen, muss auf alle Fälle vermieden werden. Diese Differenzierung wurde hier mit Hilfe der Vester®-Methode anhand einer Einflussmatrix durchgeführt. Die Bestimmung der aktiven und reaktiven Parameter aus den entsprechenden Indizes führte dann zu den entscheidenden Mess- und Steuergrößen. Die exemplarisch

durchgeführte Sensitivitätsanalyse einzelner Steuergrößen gibt den quantitativen Einfluss auf die Messgrößen wieder. Das in dieser Arbeit methodische Entwickeln einer optimalen Migration mit Hilfe des Entscheidungsbaumes schließt dieses Kapitel ab.

5 Beispielhafte Entwicklung einer ETCS-Migration für eine Fahrzeugflotte

Der Entscheidungsgang für die Migration einer Fahrzeugflotte mit ETCS soll an einem Beispiel des DB Fernverkehr exemplarisch durchgeführt werden. Es handelt sich um eine Flotte, die in vier Ländern unterwegs ist. Jedes Land hat seinen eigenen nationalen Infrastrukturausbauplan für ETCS. Auf den Einsatzstrecken entsteht die ETCS-Ausrüstnotwendigkeit zu unterschiedlichen Zeitpunkten und einzelne Teilflotten können nicht in alle Ländern fahren.

5.1 Einzelne Länderbetrachtung

Eine Teilflotte soll von Deutschland aus in dem Nachbarland Belgien unterwegs sein, das ab Mitte 2009 eine zwingende Ausrüstnotwendigkeit besitzt.

Eine Teilflotte soll auf einer internationalen Verbindung nach Frankreich Verkehr durchführen, bei der in Deutschland zur Ausnutzung der Hochgeschwindigkeit ETCS ab 2010 benötigt wird.

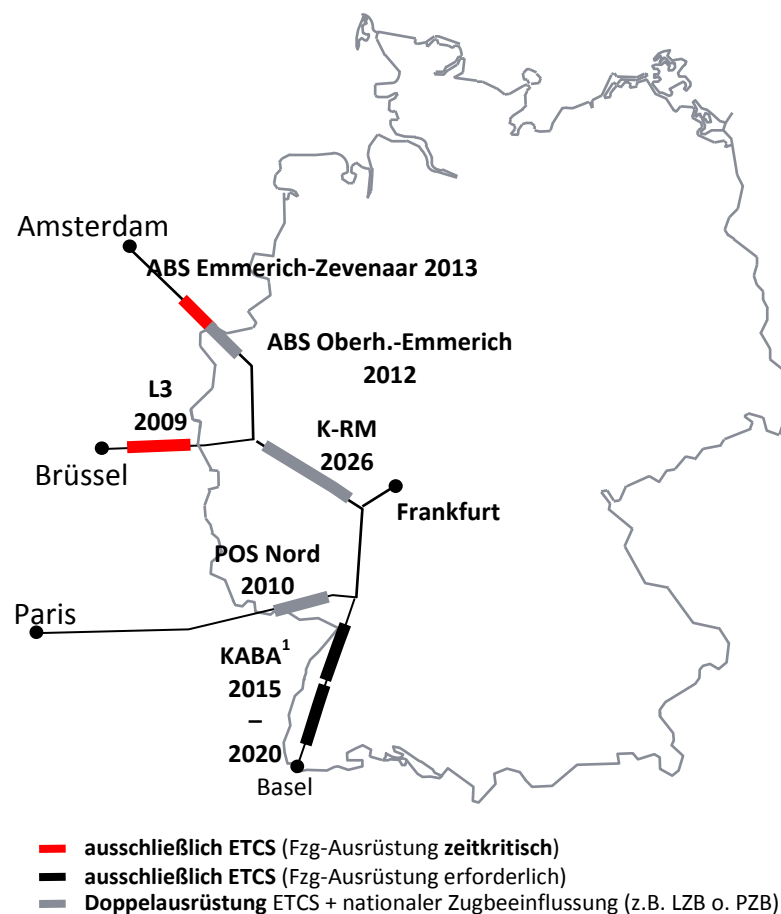


Abbildung 45 Einsatzlinien der Musterbaureihe

Der Grenzüberschritt zu Niederlanden hat eine Unsicherheit in Bezug auf die ETCS -Ausrüstnotwendigkeit so dass diese für 2012 als angenommen gilt.

5.2 Ziel der Ausrüstung

Folgende Ziele wurden im Vorfeld definiert um eine sinnvolle Strategie entwickeln zu können.

- Wirtschaftlichen Verkehr durchführen. Auf einer Verbindung besteht ein massives Wettbewerbsverhalten.
- ETCS-technisch eine Flotte zu besitzen.
- Einsetzbarkeit der Flotte muss nach Umrüstung in mindestens dem gleichen Umfang wie vorher wieder möglich sein.
- Kein Verlust von Verkehr während der Umbauzeit akzeptieren.

5.3 Randbedingungen

Basierend auf den in Kapitel 4 definierten Gestaltungselementen und den daraus abgeleiteten wichtigsten Mess- und Steuergrößen ist der nächste Schritt zu der individuellen Migrationsstrategie die Eingrenzung der Möglichkeiten durch die Randbedingungen. Diese müssen situationsbedingt für jeden Fall betrachtet werden.

Folgende Randbedingungen grenzten die Möglichkeiten der Gestaltungselemente von vornherein ein.

Nr.	Gestaltungselement	Benutzung des Gestaltungselementes	Begründung
1	Kein Verkehr nach ETCS-Ausrüstnotwendigkeit	Nein	Die Wettbewerbssituation verhindert den Verzicht.
2	Teil Lok-Pool-Bildung	Ja	4-Länderbetrieb mit Teilflottenmöglichkeit vorhanden.
3	Internationale Lok-Pool-Bildung	Ja	Eine Kooperation mit Niederlanden ist vorhanden.
4	Finanzierung der Infrastruktur-TCS durch EVU	Nein	Alle alten existierenden Zugbeeinflussungssysteme sind bereits an Board der Fahrzeuge.

Nr.	Gestaltungselement	Benutzung des Gestaltungselementes	Begründung
5	Integriertes oder On-top-ETCS-Gerät	Ja	Die Zulassungsbehörden haben für einen festgelegten Zeitraum dieser Zwischenlösung der ETCS-Untop-Installation zugestimmt.
6	ETCS-Betriebsregeln	Nein	Bisher ist noch keine Harmonisierung zwischen den vier Ländern möglich gewesen.
7	STM-Philosophie	Nein	Nur für Neufahrzeuge interessant.
8	Ausrüstungsreserve über mehrere ETCS-Bereiche	Ja	Die Flotte wird in vier Ländern eingesetzt.
9	Mieten statt Ausrüsten eigener Fahrzeuge	Nein	Es sind keine Fahrzeuge für dieses Einsatzfeld auf dem Markt verfügbar.
10	Verlegung der Streckenführung	Nein	Es existieren nur singuläre Verbindungen zu den Metropolen.
11	Zeitpunkt ETCS-Ausbau der Strecke	Partiell	Die Strecke in Belgien wurde fertig gestellt deswegen ist in Belgien keine Beeinflussung mehr möglich. Der Ausbaustreckenzeitpunkt der Strecke in den Niederlanden wurde international festgelegt, deswegen keine Beeinflussung mehr möglich. Die Streckenstücke in Deutschland sind noch beeinflussbar.
12	Zeitpunkt GSM-R-Infrastrukturausbau	Nein	GSM-R ist auf den Strecken überall vorhanden.
13	SRS-Weiterentwicklung	Nein	Existierende SRS musste verwendet werden.
14	Rückfallebenen der Infrastruktur	Partiell	In Deutschland ist eine Diskussion über die Rückfallebenen noch nicht abgeschlossen. Da aber in Deutschland für diese Flotte ETCS erst relativ spät notwendig wird, wurde dieses Gestaltungselement nicht verwendet.

Nr.	Gestaltungselement	Benutzung des Gestaltungselementes	Begründung
15	Abbau der Class B-Systeme	Nein	Neubaustrecken bestimmen in diesem Fall die ETCS-Ausrüstnotwendigkeit. Ein Abbau der Class B-Systeme ist zurzeit auf den existierenden Strecken der befahrenen Linien nicht vorgesehen.
16	Trassenpreisgestaltung für ETCS-Strecken	Nein	Die Strecken sind mit ETCS gebaut. Eine Alternative zur Nutzung besteht hier nicht. Eine WIN-WIN Situation ist für beide Seiten nicht möglich.
17	Zeitpunkt der Ausrüstnotwendigkeit	Nein	Gegeben durch die Fertigstellung der ETCS-Strecken.
18	SRS-Update der Strecke	Ja	Eine im Vorfeld zwischen den Infrastrukturbetreibern abgestimmte SRS-Version vereinfacht die Zulassung und die Interoperabilität. Es haben sich alle Infrastrukturbetreiber auf eine SRS 2.3.0 mit dem C2007 Paket geeinigt.
19	Kosten des ETCS-Einbaus	Ja	Aufgrund der verschiedenen Varianten verschiedene Möglichkeiten.
20	Zahl der gleichzeitig in der Werkstatt stehenden Züge	Nein	Nur ein Zug war aufgrund der geringen Flottenstärke gleichzeitig aus dem Verkehr zu ziehen. Ansonsten hätte man den Verkehr auf der Altbaustrecke nicht mehr aufrecht erhalten können.
21	Zwischenzeitlicher SRS-Upgrade der Fahrzeuge	Ja	Beginn mit der gültigen SRS 2.3.0 und zwischenzeitlicher Upgrade auf die SRS 2.3.0d.
22	Beginn der Umrüstung	Ja	Verschiebung des Beginns und Verschiebung nach hinten ist möglich. Betrachtung des Verlusts des Verkehrs muss berücksichtigt werden.
23	Kosten durch Verlust von Verkehr	Ja	Durch spätere Fertigstellung der Fahrzeuge mit ETCS.

Nr.	Gestaltungselement	Benutzung des Gestaltungselementes	Begründung
24	Zeitdauer der Flottenumrüstung	Nein	Da es sich um die erste ETCS-Einrüstung handelte und noch keine Lernkurve zur Beschleunigung der Umbauzeit vorhanden ist.

Tabelle 17 Auswahl der Gestaltungselemente

Als zusätzliche Randbedingungen mussten folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Ein Mitbewerber möchte auf der gleichen Verbindung den Service anbieten.
- Es gibt aus Verkehrspolitischen Gründen einen festen Termin zur Aufnahme des Verkehrs nach Belgien.
- Im Falle der Verkehrsaufnahme müssen existierende Fahrzeuge verwendet werden.
- Die SRS-Version ist noch nicht stabil.

Betrachtet man die Ziele, die bei der Entwicklung der Ausrüstungsstrategie zugrunde liegen, so lassen sich diese vereinfacht wie folgt zusammen fassen:

- Wirtschaftlichen Verkehr durchführen
- Keinen Verkehr an die Mitbewerber abgeben
- Keine Teilflottenbildung bzw. Reduzierung der Teilflottenbildung im Endzustand.

Mit dieser Eingrenzung der Gestaltungselemente und den zusätzlich berücksichtigten Randbedingungen werden die einzelnen Wirtschaftlichkeitszahlen für die verschiedenen Migrationspfade berechnet und im Entscheidungsbaum miteinander verglichen. Begleitend dazu wurden verschiedene Alternativen in den Gremien vorgestellt und den Vorständen zur Entscheidung vorgelegt.

5.4 Realisierungsstufen und optimaler Migrationsweg

Das erste Ergebnis des Durchlaufs des Entscheidungsbaumes führte zur Anwendung des Gestaltungselementes GE₈. Zur Erreichung des Ziels den Verkehr nach Belgien auf der Hochgeschwindigkeitsstrecke zeitgerecht aufzunehmen erfolgt die ETCS-Ausrüstung der Flotte zuerst in Teilflotten mit verschiedenen technischen Zwischenlösungen. Für die einzelnen Untersuchungen wurde das Simulationstool OMIWE angewendet.

Phase 1a Zielerreichung

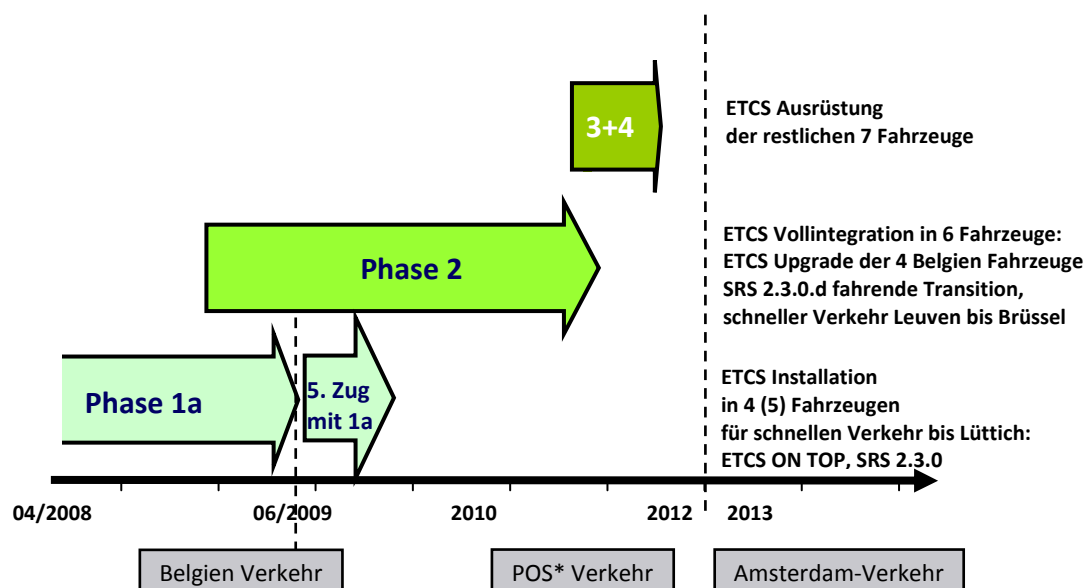
Anwendung von Gestaltungselement GE_{12} , GE_8 und GE_9 : Realisierung des Verkehrs von Deutschland nach Belgien Mitte 2009 mit ETCS-Unterpriorität Installation aber nicht endgültiger SRS-Version. Teilflottenbildung von 4 ETCS-Fahrzeugen für Belgien, 6 nicht-ETCS-Fahrzeuge für Frankreich und 7 nicht-ETCS-Fahrzeugen für den Verkehr in den Niederlanden.

Phase 2 Zielerreichung

Herstellen der Basis-/Zielvariante für eine Teilflotte nach GE_8 : Vollintegration ETCS 2011 in 10 ETCS-Fahrzeuge. Realisierung des Verkehrs in Deutschland mit ETCS zur Nutzung der infrastrukturellen Höchstgeschwindigkeit in 2010 und endgültiger zugelassener SRS-Version. Hochrüstung der Fahrzeuge für Belgien und Ausrüstung der 6 Fahrzeuge nach Frankreich. Reduzierung der Teilflottenbildung auf 10 ETCS-Fahrzeuge für Belgien und Frankreich plus einer Teilflotte von 7 nicht-ETCS-Fahrzeuge für die Niederlande.

Phase 3 Zielerreichung

Herstellen der Basis-/Zielvariante für die gesamte Flotte: Ausrüstung der verbleibenden 7 Fahrzeuge mit vollintegriertem ETCS. Zusammenführung der Teilflotten zu einer technisch kompletten ETCS-Flotte 2012 und dadurch weitere Reduzierung der Teilflotten.



*POS: Paris-Ostfrankreich-Süddeutschland

Abbildung 46 Endgültiger Migrationsweg der Flotte

Die komplexe Situation der unterschiedlichen Anforderungen durch die vier Länder ergab ein wirtschaftlich suboptimales Ergebnis.

Die Zerlegung in drei verschiedene Teilflotten und der auf jede Teilflotte mit den einzelnen Zielen optimierten Migrationsstrategie führten im Endergebnis zu einem von allen Seiten akzeptierten Weg. Die politischen Randbedingungen, Verkehr auf der Verbindung mit Belgien durchzuführen, prägen mit dem zeitlichen Horizont den weiteren Werdegang der Ausrüstung der Gesamtflotte. Das Gestaltungselement zuerst eine ETCS-Unterpunk-Installation durchzuführen mit nachträglicher Vollintegration in das Fahrzeug stellt mit der ersten Teilflotte den Zeitpunkt der Verkehrsaufnahme nach Belgien sicher.

Die Ausrüstung der zweiten und der Upgrade der ersten Teilflotte stellt den Verkehr in Deutschland und in Belgien sicher. Der dritte Schritt, Ausrüstung der Teilflotte für den Verkehr in den Niederlanden führt zur Gleichheit der Flotte und dadurch zur Reduzierung der Ausfallreserve und schließt diesen Migrationsweg erfolgreich ab. Die Hochrüstung auf eine SRS 3.0.0 ist noch kein Migrationsziel gewesen.

5.5 Optimierung der Migration in einem weiteren Schritt.

In Abbildung 46 ist der für diese Flotte optimale Migrationsweg graphisch dargestellt. Eine weitere Verfeinerung des Migrationsweges der Flotte, bei gleichzeitiger Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit ist die Ausrüstung eines fünften Triebfahrzeuges mit der Phase 1a ohne Vollintegration. Die Wirtschaftlichkeit verschlechtert sich aufgrund des zweifachen Werkstattaufenthaltes dieses Fahrzeuges. Dieser Weg wurde gewählt um die Flottenverfügbarkeit innerhalb des Zeitraumes von Mitte 2009 bis Ende 2011 für den Belgienverkehr zu vergrößern. In der Wirtschaftlichkeitsrechnung ist dieser Verfeinerungsschritt nicht mit harten Werten berechenbar. Die Vergangenheit hat allerdings bei dieser internationalen Flotte eine erhöhte Ausfallwahrscheinlichkeit gezeigt, die mit dem 5. Zug kompensiert werden soll. Diese Entscheidung erhöht zwar in diesem Fall die Investitionskosten, sichert aber bei Ausfall über die bisher eingeplante Reserve noch einen schnellen Verkehr nach Belgien.

Dieses Beispiel zeigt, dass auf der einen Seite die Gestaltungselemente sehr gewissenhaft auf die Verwendbarkeit überprüft werden kann und auf der anderen Seite viele andere Faktoren zusätzlich den optimalen Migrationsweg bestimmen. Auch ist ein erneuter Durchlauf des Entscheidungsbaumes notwendig, wenn sich die Randparameter verändern.

Der in dieser Arbeit vorgestellte Prozess zur Entwicklung eines optimalen Migrationsweges wurde erfolgreich angewandt. Der Migrationsweg wurde so von den Gremien und Vorständen genehmigt. Die Ausrüstung ist im Gange, die Phase 1a wurde bereits abgeschlossen.

6 Zusammenfassung und allgemeingültiger Transfer

Die Entwicklung eines optimalen wirtschaftlichen Migrationsweges einer Fahrzeugflotte hin zu einer Ausrüstung mit ETCS ist von vielen Faktoren abhängig. Genauso vielfältig sind auch die Gestaltungsmöglichkeiten des Migrationsweges selbst. Jeder Migrationsweg steht unter dem Zeichen der wirtschaftlichsten Lösung. Meist spielen jedoch zusätzlich politische Aspekte bei der Gestaltung der Migration eine Rolle, die hier nicht berücksichtigt werden.

Der für ein Eisenbahnverkehrsunternehmen optimale Migrationsweg ist aufgrund der Vielzahl der Elemente meist schwierig zu finden. In dieser Arbeit wurde ein Prozess entwickelt und vorgestellt, der für ein Eisenbahnverkehrsunternehmen zu einem wirtschaftlich optimalen Migrationsweg führen kann.

Aufbauend auf den zur Verfügung stehenden Gestaltungselementen wurde ein Weg aufgezeigt, um individuell für ein Eisenbahnverkehrsunternehmen die wichtigsten Mess- und Steuergrößen über die Einflussmatrix herauszuarbeiten.

Die iterative Anwendung der in dieser Arbeit entwickelten Untersuchungskette führt zu einem objektiv optimalen Migrationsweg. Das Beispiel, an dem dieser Prozess erläutert wurde, zeigt aber auch klar auf, dass neben der Objektivität, die durch die Kapitalwertmethode innerhalb eines Unternehmen sichergestellt wird, andere Faktoren wie zum Beispiel strategischer Wettbewerb oder Sicherstellung einer größeren Ausfallreserve, die Migration beeinflussen können. Diese Faktoren führen dann zu einer suboptimalen Migrationswegsentscheidung.

Der Schlüssel zu dem optimalen Migrationsweg sind die zur Verfügung stehenden Gestaltungselemente. Diese werden in dieser Arbeit in durch das Eisenbahnverkehrsunternehmen beeinflussbare und nicht beeinflussbare Elemente klassifiziert. Die Bestimmung der optimalen Strategie ist mit einer großen Vielzahl an Gestaltungselement nicht möglich. Nach der „Siebener Regel“ sollte die Steuerung eines komplexen Systems mit nicht mehr als 7 ± 2 Parameter erfolgen. Deshalb wurde in dieser Arbeit mit Hilfe der Vester®-Methode ein Weg zur Komplexitätsreduktion auf die entscheidenden Elemente erarbeitet. Für die entscheidenden Steuergrößen, Umbauzeit der Züge, Umrüstzeit der Flotte und Verschiebung der Ausrüstnotwendigkeit wurde mit Hilfe der Ceteris-Paribus-Methode eine Parametersensitivitätsanalyse durchgeführt.

Eingebettet ist diese Arbeit in einer umfassenden ETCS-Grundlagendarstellung der Technik, der betrieblichen Zusammenhänge, der Rückfallebenenbetrachtung sowie der Erläuterung der Migrationsansätze von Infrastruktur- und Fahrzeugseite.

Zur Unterstützung der Bewertung der einzelnen Migrationswege aus der Untersuchungskette sowie für der Parametersensitivitätsanalyse wurde das Simulationstool OMIWE: Optimaler Migrationsweg entwickelt und eingesetzt.

Zusammenfassend ist der hier entwickelte Prozess allgemeingültig für alle Eisenbahnverkehrsunternehmen geeignet sowie für Bestands- und Neufahrzeuge einsetzbar. Der Prozess ist auf den kompletten Bestand an Fahrzeugen wie auch auf einzelne Teilflotten anwendbar. Der Prozess basiert auf den zur Verfügung stehenden Gestaltungselementen. Diese können und müssen individuell an die jeweilige Situation angepasst werden und führen zu der wichtigen Einflussmatrix. Eine Veränderung der Einflussmatrix kann dabei zu anderen entscheidenden Mess- und Steuergrößen führen, deren Parametersensitivität dann neu nachgewiesen werden muss. Die Untersuchungskette mit der ihr innehaftenden Kapitalwertmethode ist strukturell immer zu verwenden. Die hier für den DB Fernverkehr erarbeiteten Gestaltungsmöglichkeiten und die daraus abgeleiteten Schlüsse zeigen exemplarisch die Anwendbarkeit dieses Prozesses für die Entscheidung für einen situationsbedingten optimalen Migrationsweg.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Strom- und Zugsicherungssysteme in Europa	4
Abbildung 2 Zeitliche Historie von ERTMS/ETCS [WIN05]	6
Abbildung 3 Gesetzesgrundlage für die Implementierung von ETCS	7
Abbildung 4 Gegenüberstellung der Gesetze die für Infrastrukturprojekte in Deutschland gelten [KAM07]	8
Abbildung 5 TEN Übersicht [www.europa.eu.int/com/ten/transport]	9
Abbildung 6 ETCS-Level 1 Systemskizze	10
Abbildung 7 ETCS-Level 1 Limited Supervision Systemskizze.....	12
Abbildung 8 ETCS-Level 1 Radio Infill Systemskizze	14
Abbildung 9 ETCS-Level 2 Systemskizze	16
Abbildung 10 ETCS-Level 3 Systemskizze	17
Abbildung 11 ERTMS-Regional Systemskizze.....	19
Abbildung 12 Zugbeeinflussungssysteme auf dem Korridor Rotterdam Genua [WES07].....	22
Abbildung 13 Upgrade-Aufwand	23
Abbildung 14 Abwärtskompatibilität Fahrzeug-Strecke.....	24
Abbildung 15 Abstimmungsprozess für eine neue SRS-Version	25
Abbildung 16 Kostenvergleich verschiedener ETCS-Level	29
Abbildung 17 Infrastrukturmodelle für Kapazitätsaussagen [WEN07].....	31
Abbildung 18 ETCS-Kapazitätsvergleich Hochgeschwindigkeitsstrecke[WEN07]	32
Abbildung 19 ETCS-Kapazitätsvergleich für konventionelle Strecken[WEN07]	33
Abbildung 20 Kapazitätsaussage Regionalstrecke [WEN07].....	34
Abbildung 21 Gemeinsamer Integrationstest für Fahrzeug und Strecke.....	38
Abbildung 22 Vierstufiger Testprozess	39
Abbildung 23 ETCS-Level 2 Systemelemente [MAY08]	41
Abbildung 24 Hybride Testumgebung	43
Abbildung 25 Schematische Unterteilung des Betrieb mit ETCS in betriebliche Regeln und technischen Lösungen	54
Abbildung 26 Basis der technischen ETCS-Lösung.....	55
Abbildung 27 ETCS-Ausrüstung 2005 auf dem TEN-T Netzwerk bis 2015 [BMV07]	57
Abbildung 28 Primäre Gründe/Ziele der ETCS-Ausrüstung	58
Abbildung 30 Szenarischer ETCS-Hochlauf der DB Netz AG.....	61
Abbildung 31 ETCS-Netz bis 2015 [/www.ertms.com/2007v2/projects_country.aspx]	65
Abbildung 32 Wachsendes ETCS-Netz gemäß nationaler Migrationspläne	66
Abbildung 33 MOU Karte der Korridore [www.dgtren.de].....	69
Abbildung 34 Internationale RailTeam-Verbindungen.....	71
Abbildung 35 Auswertung internationale Fernverkehrs-Linien mit ETCS	72
Abbildung 36 Prozessschritte des optimalen Migrationsweges.....	76
Abbildung 37 generisches Ergebnis der Auswertung der Einflussmatrix.....	105
Abbildung 38 Auswertung der Einflussmatrix.....	107
Abbildung 39 Basisszenario für die Parametersensitivitätsanalyse	114
Abbildung 40 Parametersensitivität gleichzeitiger Umbau mehrerer Züge	116
Abbildung 41 Parametersensitivität der Umbauzeit pro Zug.....	118
Abbildung 42 Parametersensitivität des Beginn ETCS-Ausrüstnotwendigkeit	119
Abbildung 43 Entscheidungsblock pro Gestaltungselement.....	122
Abbildung 44 Untersuchungskette der Migrationswege.....	125
Abbildung 45 Einsatzlinien der Musterbaureihe	130

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Beispielhafte Streckenkategorisierung Schwedens	20
Tabelle 2 Internationale Ziele des Personenverkehrs der DB AG 2008[www.db.de]	62
Tabelle 3 Notwendige Class B-Systeme auf den Linien des DB Fernverkehrs	73
Tabelle 4 Klassifizierung der Gestaltungselemente für Bestands- und Bedarfsfahrzeuge	91
Tabelle 5 Direkt gestaltbare Elemente der EVU-Migrationseinflussfaktoren.....	94
Tabelle 6 Indirekt gestaltbare Elemente der EVU-Migrationseinflussfaktoren	96
Tabelle 7 Einflussmatrix der Gestaltungselemente	100
Tabelle 8 Aktiv-passiver-Index (Q)	102
Tabelle 9 Kritisch-puffernder-Index (P).....	104
Tabelle 10 Elemente der EVU Migration.....	107
Tabelle 11 Liste der Messgrößen der Migration	109
Tabelle 12 Liste der Elemente mit den größten Einflüssen auf die Migration.....	109
Tabelle 13 Basiswerte der Simulation	115
Tabelle 14 Parametersensitivität gleichzeitiger Umbau mehrer Züge	116
Tabelle 15 Parametersensitivität der Umbauzeit pro Zug	117
Tabelle 16 Parametersensitivität des Beginn ETCS-Ausrüstnotwendigkeit	119
Tabelle 17 Auswahl der Gestaltungselemente	134

Formelverzeichnis

Formel 1 Kapazitätssteigerung HGV Level 3 zu Level 2	32
Formel 2 Kapazitätssteigerung HGV Level 3 zu Level 2 mit optimiertem Blockabstand	32
Formel 3 Kapazitätssteigerung konventionell Level 1 LS zu Level 1.....	33
Formel 4 Kapazitätssteigerung Regionalstrecken Level 3 zu Level 2.....	34
Formel 5 Bestimmung der Aktivsumme	101
Formel 6 Bestimmung der Passivsumme	101
Formel 7 Aktiv-passiv-Index (Q).....	101
Formel 8 Kritisch-puffernder-Index (P)	103
Formel 9 Kapitalwertberechnung	126
Formel 10 Definition der Wirtschaftlichkeitszahl WR	127
Formel 11 Definition der Basiswirtschaftlichkeitszahl	127
Formel 12 Optimale Wirtschaftlichkeitszahl	128
Formel 13 Zuordnung der optimalen Wirtschaftlichkeit zu optimalem Migrationsweg.....	128

Verzeichnis der Hochgeschwindigkeitszüge

Die nachstehende Auflistung beschreibt die wichtigsten Hochgeschwindigkeitszüge, die hauptsächlich am internationalen Verkehr teilnehmen. Ein Großteil dieser Züge ist von dem Thema ETCS betroffen.

- China: Transrapid Shanghai (SMT), CRH1, CRH2, CRH3, CRH5
- Deutschland (Deutsche Bahn AG): ICE, Transrapid
- Frankreich (SNCF): TGV
- Großbritannien: Eurostar, InterCity 125, British Rail Class 390
- Italien (Trenitalia): Eurostar Italia, ETR 500 (Nuovo Trasporto Viaggiatori): Alstom AGV
- Japan (JR Kyûshû, JR West, JR East): Shinkansen, (JRTRI): JR-Maglev
- Korea KTX
- Österreich (ÖBB): Railjet
- Norwegen (NSB): Flytoget
- Portugal (CP) Alfa Pendular
- Russland (RZD): ER200, Sokol (Zug) (Projekt gestoppt), Velaro RUS (in Produktion)
- Spanien (eine Tochtergesellschaft der RENFE): AVE, Euromed, Alaris, Arco, Alvia, Talgo, Velaro E
- Schweden (SJ): X2000, X40, Regina, Arlanda Express
- Schweiz (SBB): ICN
- Taiwan Hochgeschwindigkeitszug zwischen Taipeh und Kaohsiung (in Betrieb seit 5. Januar 2007)
- Tschechien (ČD) (BR 680 (Pendolino))
- Türkei (Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları)
- USA (Amtrak): Acela
- Argentinien TAVE (geplant)
- verschiedene Staaten Westeuropas: Thalys, Eurostar

Viele dieser Hochgeschwindigkeitszüge fahren mehr als in einem Land und streifen schon aus diesem Grund ERTMS, ETCS und die Themen der Interoperabilität.

Literaturverzeichnis

- [AGR07] Agrou, K.: ERTMS Implementation; ERTMS Focus Newsletter; Paris 2007; Nr. 11
- [AND07] Andree, S.: ETCS – das einheitliche System. Vortrag auf dem TÜV Nord Bahntechnik Symposium Berlin; 20.9.2007
- [ALH07] Aliadiere, L., Heinisch, R.: Global Perspectives for ERTMS; UIC Report for the ERTMS Annual Conference in Bern 09/2007
- [BAN07] Banverket: ERTMS-Strategie in Schweden, Präsentation vor der DGTREN; 2007
- [BMV07] BMVBS: Konsultationspapier ERTMS – Plan für die Einführung in Europa; 11/2007
- [BM207] BMVBS: Nationaler Umsetzungsplan für die TSI Zugsteuerung, Zugbeeinflussung und Signalgebung des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems im Rahmen der Richtlinie 2001/16/EG in der Bundesrepublik Deutschland; Bonn; September 2007
- [BOR07] Bormet, J. (2007): Anforderung des Betreibers an den Life-cycle in der Fahrwegsicherungstechnik, Signal & Draht (99) 1+2/2007
- [BRR07] Dr. Breuel, Dr. Röder: Immer internationaler, interne Zeitschrift der DB AG: update; 2007; Heft 11
- [CER08] CER: Positionspapier zur ERTMS-Beschleunigungsstrategie der Europäischen Kommission, Brüssel; 14.2.2008
- [CHA08] Basler, C. und Partner: Influence of ETCS on the line-side capacity of railways: basic considerations on the influence of the trains braking behavior; Vortrag auf dem UIC ETCS-Kapazitätsworkshop am 19.02.2008; Paris; 2008
- [DBA07] DB AG: Neue internationale ICE-Verbindungen erfolgreich; Bahnbrief der DB Mobility Networks Logistics; 04/2007
- [DGT07] DGTREN; Generaldirektion Energie und Verkehr: Das Informationsblatt ERTMS; November 2007; Ausgabe Nummer 3
- [DLR08] DLR; Deutsches Luft und Raumfahrtzentrum: http://www.dlr.de/fs/desktopdefault.aspx/tabid-1235/1688_read-3254/sendafriend-1/ RailSiTe®, Rail Simulation and Testing, Beschreibung im Internet: www.dlr.de/fs/desktopdefault.aspx/tabid-1235/1688_read-3254/; 2008
- [EBR08] Schm: ETCS-Tagung in Berlin; Eisenbahn-Revue 2008; Heft 2; Seite 72-73
- [ECO04] Europäische Kommission: Directive 2001/-Interoperability of the trans european conventional rail system; Draft Technical specification for Interoperability "Control-Command and Signalling" Sub System; Version EN07; Brussels; 24.11.2004

- [FAB06] Faber, J.: Eine ETCS-Fallstudie zur Fehlerbaumanalyse; Department für Informatik, Carl-von-Ossietzki-Universität Oldenburg; 2. Juni 2006
- [FRI07] Frisch, N.: Flexibility of today's GSM-R-Systems; ERTMS Conference, Bern 2007
- [GÄL90] Gälweiler, A.: Strategische Unternehmensführung; Campusverlag; 1990
- [GAR07] Garstenauer, K., Appel, B.: Marktentwicklung für ERTMS-Lösungen in Europa und Übersee; ETR; November 2007; Heft 11.
- [GRP07] Gralla, C., Panten, C.: Mit ETCS soll „Eisenbahn-Europa“ enger zusammenwachsen, kann es das leisten? ; Fachbeitrag zur Güterbahn, 2007; Heft 10
- [GR307] Gralla, C.: ETCS-Strategie, Finanzierungsquellen und Einführungshorizonte auf den Strecken der DB Netz AG; Vortrag auf der 52. Eisenbahntechnischen Fachtagung des VDEI, Magdeburg 6. September 2007
- [HES06] Hermes/Schweinsberg, Beck'scher AEG Kommentar; 2006
- [HES07] Hess, H.-J.: ERTMS in Switzerland; ERTMS Conference Bern; 2007
- [HÖR08] Meyer zu Hörste, M.: Europäische Vereinheitlichung der Zugbeeinflussung; Deine Bahn, 2008; Heft 3; Seite 29-32
- [INV08] Invensys: Transport Capacity Reserch Paper; Präsentation auf dem Kapazitätsworkshop der UIC in Paris, 2008
- [JUN07] Junker, K.: ETCS im TEN-Korridor Rotterdam – Genua; Vortrag auf der Tagung „Moderne Schienenfahrzeuge“; 2007
- [KAM07] Kaminsky, R.: ETCS auf den Verkehrskorridoren in Europa - Herausforderungen an die Signalindustrie und Stand der Einführung; Vortrag auf der Eisenbahntechnischen Fachtagung des VDEI; 2007
- [KOM07] Europäische Kommission: Mitteilung der Kommission an den Rat und das europäische Parlament: Aufbau eines vorrangig für den Güterverkehr bestimmten Schienennetzes; Brüssel; 18.12.2007
- [MAL01] Malik, F.: Strategische Unternehmensführung 1- Aloys Gälweilers unternehmerisches Navigationssystem; Malik on Management; 9. Jahrgang; Heft 8/01; August 2001
- [MAY08] Mayer M., De Cicco, P.: Benchmarking of ERTMS projects and modular cost structures, Diskussionspapier der CER, März 2008, Version 01
- [MEM05] Memo 05/235: The ERTMS in 10 questions, MEO/05/235, Brüssels, 4. July 2005
- [MIN07] Mindel, K.: Hochgeschwindigkeitsverkehr: Aufgaben und Perspektiven; On the Move Das Magazin für Transport und Verkehr; 10/11/12 2007; Nr. 2
- [MI207] Mindel, K.: Consolidation of technical issues; ERTMS Conference Bern; 2007

- [PAC04] Pachl, P.: Systemtechnik des Schienenverkehrs; 4. Auflage; Stuttgart; 2004
- [PAC08] Pachl, P.: Glossar der Systemtechnik des Schienenverkehrs Stand: 17.06.2008
- [PAN07] Panten, C.: Mit ETCS soll „Eisenbahn-Europa“ enger zusammenwachsen - kann es das leisten; ETR November 2007; Heft 11
- [PAR07] Panten, C. , Richard, J.: Beschleunigung der ETCS-Migration durch die Betriebsart „Limited Supervision“; ETR November 2007; Heft 11
- [POT08] Potrafke, M.: NB-Rail – die Koordinierungsgruppe der benannten Stellen in Europa; ETCS, Eisenbahntechnische Rundschau ETR; April 2008; Heft 4
- [PRE02] Preece, J., Rogers, Y., Sharp, H.: Interaction Design - beyond Human-Computer Interaction; John Wiley Verlag; 2002
- [PRO89] Probst, G; Gommez, P.: Vernetztes Denken Ganzheitliches Führen in der Praxis; 1989
- [PTS07] Ptok, F.-B., Salbert, F.: Einsparungen von Signalen bei ETCS, Eisenbahntechnische Rundschau ETR; November 2007; Heft 11
- [SCH07] Schlender, D.: Leit- und Sicherungstechnik im Bahnbetrieb: Sicherheitstechnische Grundlagen; Bergische Universität Wuppertal Studiengangsbezogene Lehrveranstaltung; Wuppertal; 2007
- [SEN07] Senesi, F., Marzilli, E.: European Train Control System: Development and implementation in Italy; CIFI; Rome; 2007
- [UIC05] UIC: The ERTMS in 10 questions; MEMO/05/235; Brussels; 4th July 2005
- [UIC07] UIC: Global Perspectives for ERTMS; UIC Report for the ERTMS Annual Conference; Bern; 11-13. September 2007
- [UIU07] UIC/UNIFE: Atlas of ERTMS Worldwide implementation; ETF publication; 2007
- [VES05] Vester, F.: Die Kunst vernetzt zu denken. Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. Kapitel 18: Ein universeller Planungsansatz.; Bericht an den Club of Rome; DTV München 5. Auflage 2005
- [VEI05] Veiderer, A.: Main Line Signaling Strategies for the European Transport Network; Strategy White Paper; Alcatel; 2005
- [WEN07] Wendler, E.; "Influence of ETCS on the performance behaviour of railway facilities"; Vorläufiger Bericht der RWTH Aachen; 11/2007
- [WE207] Wenzel, W., GSM-R: Industry experience in Switzerland; ERTMS Conference Bern; 2007
- [WEN06] Wendler, E.: Einfluss von Zugbeeinflussungskomponenten mit Infill-Funktionalität auf das Leistungsverhalten von Bahnanlagen, Eisen-

- bahnbetriebswissenschaftliches Gutachten im Auftrag des internationalen Eisenbahnverbandes (UIC); Aachen; 2006
- [WES07] Wendel, S.: Business Plan Corridor Rotterdam-Genua; Eingereicht bei der EU 2007 im Rahmen der Förderantragstellung; 2007
- [WEI07] Weigand, W.: ETCS betriebliche Vorteile der unterschiedlichen Funktionsstufen und Betriebsarten
- [WEI08] Weigand, W.: Influence of ETCS on the performance behavior of railway facilities; Vortrag auf dem UIC ETCS-Kapazitätsworkshop am 19.02.2008; Paris; 2008
- [WIN05] Winter, P.: Stand der Entwicklung und Einführung von ERTMS: Vortrag auf dem Braunschweiger Verkehrskolloquium; Braunschweig; 2005

Weiterführende Internetadressen

www.railneteurope.com

Die RNE Web Seite mit Angaben der europäischen Frachtkorridore, mit den europäischen Standardfahrplänen und Ansprechpartnern

www.europa.eu.int/com/ten/transport

Informationen über das transeuropäische Netzwerk, TEN Leitlinien

www.nea.n/ten-stac

TEN-STAC Internetseite: Informationen über die statistische Auswertung der Verkehrsflüsse im transeuropäischen Netzwerk

www.uic.asso.fr

Informationen über den internationalen Eisenbahnverbund UIC und über alle Mitgliedsbahnen

www.findus.bahn-net

Im Intranet der DB AG Informationen unter anderem über alle die DB AG betreffenden ERTMS/ETCS-Themen

www.etcs.eu/etcs_netz.htm

Allgemeine europäische Informationen über ETCS

www.ertms.com

Freie ERTMS-Seite mit Lexikoncharakter

www.era.europa.eu

Internetseite des europäischen Eisenbahnbundesamtes ERA mit Informationen unter anderem der CR-Untersuchung, des Triage Prozesses, der Zulassungsbestimmungen und der SRS.

www.bahn.de/SNBviewer/public_html_de/index.html

Schienennetznutzungsbedingungen der DB AG

www.db.de/site/bahn/geschaefte/infrastruktur_schiene/netz/netzzugang/etcs/etcs_allgemeine_information.html

Informationen der DB AG zu ERTMS/ETCS

www.ec.europa.eu/trasport/rail/index_de.htm

Informationen der Europäischen Kommission in Bezug auf Interoperabilität, Artikel 21 und ERTMS/ETCS

www.ertms.uic.asso.fr/index.html

ERTMS-Internetseite der UIC

<http://joernpachl.gmxhome.de/glossar.html>

Prof. Dr.-Ing. J. Pachl: Glossar der Systemtechnik des Schienenverkehrs

Der Fortschritt geschieht heute so schnell, dass,
während jemand eine Sache für gänzlich undurchführbar erklärt,
er von einem anderen unterbrochen wird,
der sie schon realisiert hat.

Albert Einstein, dt. Physiker, 1879 - 1955